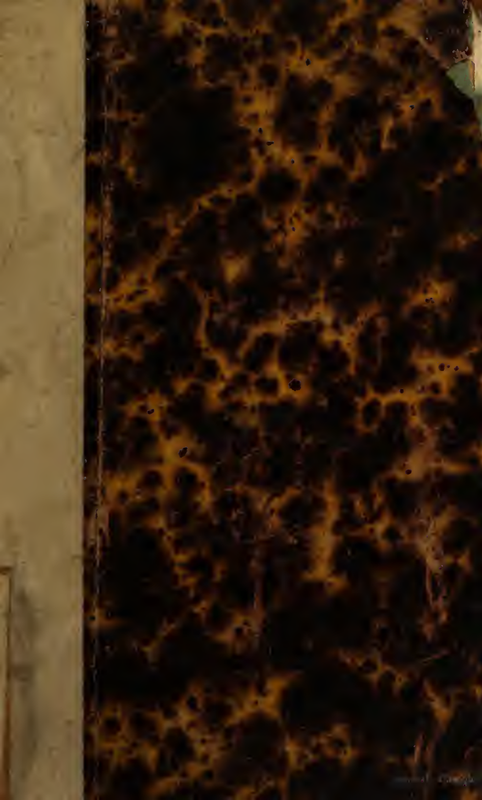


RACCOLTA

DI

OPERE UTILI

OPERE UTILI
AD OGNI PERSONA EDUCATA
RACCOLTE
col consiglio
D'UOMINI PERITI IN CIASCUNA SCIENZA

Filosofia Naturale

STORIA DEL PROGRESSO
DELLE
SCIENZE FISICHE E MATEMATICHE
DAI TEMPI PIÙ ANTICHI SINO AI PRESENTI

DI
BADEN POWELL
PROFESSORE DI MATEMATICHE NELL'UNIVERSITA' DI OXFORD

Prima versione dall'inglese
DI C. DEMARCHI

TORINO
G. POMBA E COMP. EDITORI
1841

Non è facile il trovare un rimedio per questo stato di cose (la decadenza degli studi scientifici); ma il più ovvio è di porgere alle classi educate una serie di opere sulle scienze popolari e pratiche, libere da simboli matematici e da parole tecniche, scritte in linguaggio semplice e chiaro, ed illustrate da fatti e da sperimenti adattati alla capacità delle menti ordinarie.

QUARTERLY REVIEW — Feb. 1831.

Stabilimento tip. FONTANA
Con permissione.

STORIA
della
FILOSOFIA NATURALE
, DAI TEMPI PIÙ ANTICHI

SINO AI GIORNI NOSTRI

di

BADEN POWELL

PROFESSORE DI MATEMATICHE A OXFORD

Traduzione di Gaetano Demarchi.



Torino
— G. Pomba e C. —
1841.

AI LETTORI

Gli Editori

Dopo di aver dato felicemente principio alla parte scientifica della nostra raccolta di Opere Utili col bellissimo Discorso preliminare di Sir J. Herschel sullo studio della filosofia naturale, ragion voleva che, prima di passare a trattati particolari sulle varie parti della scienza, per noi si mettesse sotto gli occhi dei nostri lettori un quadro compendiato *dell'origine e del progresso delle scienze fisiche e matematiche*, affinchè si potesse, per così dire, scorgere a un tratto tutta la successione delle scoperte per le quali queste scienze sono giunte all'alto grado, che con tanta gloria e con tanta utilità del genere umano le veggiamo di presente occupare. — Desiderosi di riempiere in questa parte un vuoto in ispecial modo sentito da coloro che non si sono espressamente

consacrati allo studio della filosofia naturale, abbiamo creduto che niun'opera meglio rispondesse al nostro disegno di quella che presentiamo al pubblico e che, come la precedente dell'Herschel, togliamo dalla celebrata Collezione Inglese conosciuta sotto il nome di *Ciclopedia di Gabinetto*. Essa è scritta da un professore di matematiche dell'università di Oxford, il quale gode di una bella fama fra gli scienziati, e la traduzione che ne venne fatta direttamente dall'inglese è la prima che vegga la luce in Italia.— L'importanza e la varietà della materia e le moltissime cognizioni che in essa si racchiudono, ci fanno sperare che il pubblico accoglierà con favore questo secondo anello della Collana Scientifica che ci proponiamo di offerirgli, e c'incoraggierà così a proseguire in un'impresa che stimiamo dover riuscire di non poco vantaggio agli studiosi delle scienze, non meno che a coloro i quali bramano di acquistarne una sufficiente cognizione senza troppo profondamente internarsi nei loro misteri; perciocchè è nostra intenzione che le opere le quali faranno parte della nostra raccolta siano adattate, se non alla capacità di qualunque lettore, almeno a quella delle persone che non avranno interamente dimenticato gli studi della loro gioventù e che ameranno di richiamarsi alla memoria i principii e le cose che loro furono altre volte familiari.

Fra le opere di questa fatta niuna può certamente riuscire più interessante di questa storia dell'origine e del progresso della filosofia naturale, che raduna in un breve spazio, e in bell'ordine dispone la serie di tutte le principali scoperte fatte dai primi secoli sino al nostro, esponendo così alla venerazione degli uomini quei grandi ingegni, veri benefattori dell'umanità, i quali colle loro fatiche hanno accresciuto il patrimonio della scienza ed hanno fondato sopra saldissime basi l'umano incivilimento. E in fatto, che vi può essere di più gradevole del vedere come gli uomini nell'infanzia delle civili società aprissero gradatamente gli occhi alle maraviglie che li circondavano, studiassero le cause degli effetti naturali e giungessero a forza di osservazioni a scoprire quelle leggi della natura, senza la cognizione delle quali l'uomo, non che potesse degnamente mostrarsi grato al Creatore, vivrebbe avvolto in una stupida superstizione e in uno stato di poco superiore a quello dei bruti! Se è importante al *cittadino* di conoscere la storia del proprio paese per la diretta o indiretta connessione che i passati avvenimenti hanno con quelli che giornalmente accadono, non è meno importante per l'*uomo* di essere istruito dei modi col quali il genere umano ha steso il suo dominio su tutta la natura, valendosene a soddisfare ai suoi bisogni, e a porlo in quel grado in cui era

destino che le sue qualità intellettuali lo facessero coll' andare dei secoli pervenire. Ora è impossibile che l'uomo possa giustamente comprendere tutta la dignità della sua natura ed apprezzare la comparativa felicità della sua presente condizione, se non si forma una chiara idea degli ostacoli che hanno dovuto vincersi, e degl'infiniti passi che, lentamente sì ma felicemente, si fecero dalle passate generazioni prima che si giungesse a spiegare i più comuni fenomeni che ogni giorno veggiamo rinnovarsi sulla terra; e chi volontariamente se ne vive nell'ignoranza di queste cose, ben si può dire che sia insensibile al maggior diletto che sia dato ad un essere ragionevole di provare. — Uno sguardo che si volga agl'indici di questo volume darà a un tratto un'idea del gradito pascolo che la mente non può a meno di ricavarne; imperocchè la magnifica serie delle scoperte scientifiche che vi è notata, annunzia come l'autore abbia ordinatamente esposto le origini e i progressi delle scienze e la concatenazione delle une con le altre, in una maniera da presentare un quadro compiuto in quelle parti che sono generalmente meno note, e che una naturale curiosità ci spinge a voler più particolarmente conoscere. Quindi la presente storia, benchè ristretta entro quei brevi limiti che richiedeva lo scopo per cui fu scritta, è tuttavia più che sufficientemente sviluppata nelle

parti che riguardano la scienza antica e il suo risorgimento dopo il Medio Evo; e se tratta alquanto di volo alcun periodo di tempo, ciò accade nella parte più moderna, cioè dalla morte di Newton insino ai giorni nostri, che è appunto la più conosciuta e su cui si hanno facili mezzi di ottenere quelle maggiori notizie che si desiderassero. Noi tuttavia siamo stati in dubbio se non dovessimo aggiungere all'opera del Powell una qualche appendice che desse anche a questo periodo la dovuta estensione, ma ben riflettendovi abbiamo creduto di dovercene astenere, sì per non accrescere di troppo la mole del volume, entrando come si conveniva nella vastissima materia delle scoperte moderne, come perchè speriamo che questa lacuna, se pure può dirsi tale, sarà riempiuta dalle opere parziali di scienze che verremo successivamente pubblicando. Intanto il lettore sia persuaso che il volume che gli offeriamo è al tutto degno della sua attenzione, — che in nessun altro libro di questo genere egli potrebbe trovare tanta e sì varia materia così ben disposta e così giudiziosamente condensata, — e che per acquistare le medesime cognizioni gli sarebbe d'uopo ricorrere a molte e voluminose opere che non a tutti è dato di poter consultare.

[illegible]

TAVOLA DELLE MATERIE

PARTE PRIMA

PROGRESSO DELLA SCIENZA FISICA E MATEMATICA PRESSO GLI ANTICHI

SEZIONE I

SEZIONE II

SEZIONE III

PARTE SECONDA

PROGRESSI DELLA SCIENZA FISICA E MATEMATICA DAL MEDIO EVO AI TEMPI DI NEWTON

SEZIONE I

SEZIONE II

SEZIONE III

SEZIONE IV

PARTE TERZA

PROGRESSO DELLA SCIENZA FISICA E MATEMATICA DAI TEMPI DI NEWTON SINO AL GIORNO PRESENTE

SEZIONE I

SEZIONE II



CRONOLOGIA

DELLA

SCIENZA FISICA E MATEMATICA

Anni
A. C.

2000 Pretesa coltivazione dell'astronomia e di altre scienze presso gl' Indiani, i Cinesi, i Caldei e gli Egizi.
1500 Mosè.
1100 Memorie di osservazioni cinesi dei solstizi.
1020 Salomone: storia naturale.
1000 Il Surya Siddhanta.
720 Prime osservazioni de' Caldei, menzionate da Tolomeo.
600 Talete: astronomia.
590 Nascita di Pitagora.
Pitagora: astronomia; sistema solare; geometria.
500 Anassimandro. Anassimene. Anassagora.
450 Filolao. Niceta. Archita. Empedocle.
432 *Ciclo di Metone* comincia.
400 Eudosso. Democrito.
350 Aristotile: fisica; meccanica. *Platone*: *Sezioni coniche*; *analisi geometrica*.
300 Epicuro. Menecmo. Aristeo: geometria.
Fondazione della scuola di Alessandria per Tolomeo Filadelfo.
Euclide: *geometria*; ottica. *Metodo dei limiti e dell'esaustione.*
287 Nasce Archimede. Aristarco: astronomia.
250 Apollonio: geometria. *Archimede*: *esaustione; meccanica*; *idrostatica.*
212 Muore Archimede. Eratostene: arco di meridiano.
200 Nicomede: geometria.
150 Ipparco: astronomia. *Catalogo di stelle*; *precessione degli equinozi.*
Ctesibio. Erone: meccanica e idrostatica.
100 Lucrezio. Possidonio: maree.
50 Teodosio. Menelao: geometria. Giulio Cesare. Sosigene: astronomia; calendario.

E. V.

50 Strabone. Seneca. Plinio: vari punti di fisica generale.
100 Plutarco.
130 Aulo Gellio: ottica.
140 Seconda scuola di Alessandria.
150 Tolomeo: astronomia; sistema del mondo; epicicli.
200 Diofante: algebra.

300 . . . .
350 Teone. Pappo: geometria.
400 Proclo: geometria.
450 Diocle: geometria.
500 . . . .
600 . . . .
700 . . . .
713 Impero moresco in Ispagna.
800 Astronomia presso gli Arabi. Al Mamun, ecc.
827 Traduzione in lingua araba dell'Almagesto di Tolomeo.
870 Alfredo.
900 Albategni (Al-batani): astronomia.
959 Ben Musa: algebra.
Gerberto introduce l'*aritmetica decimale* dall'Oriente in Europa.
1000 Ebn Junes: astronomia. Abul Wefa: tavole trigonometriche.
Adelardo: traduzione di Euclide dall'arabo.
1100 Al-Hazen: ottica. Fondazione di università.
Campano: traduzione di Euclide.
1180 Ago magnetico: Guyot.
1200 . . . .
1202 Leonardo introduce l'algebra in Europa.
Federigo II: traduzione latina di Tolomeo.
1214 Nascita di Rogero Bacone.
1220 Nussireddin: astronomia.
1250 Alfonso X: tavole astronomiche.
1260 Bussola: Flavio Gioia.
1266 *Opus maius* di R. Bacone.
1270 Vitellione: ottica.
1292 R. Bacone muore.
1300 Dante: fisica.
1313 Lenti in uso.
1350 . . . .
1400 . . . .
1436 Regiomontano (Muller) nasce.
1437 Copernico nasce.
1440 Ulugh Beg: astronomia. Sovrani Tartari incoraggiano l'astronomia.
Regiomontano: trigonometria; traduzione di Tolomeo.
1450 Purbach: astronomia.
1452 Presa di Costantinopoli. Greco introdotto in Occidente.
1476 Regiomontano muore. Walther: astronomia.
Commandino: comento su Euclide.
Lucas de Burgo: algebra.
1500 Pietro Ramus combatte la filosofia aristotelica.
1540 Fracastoro: dinamica.
1543 *Il sistema del mondo di Copernico* è pubblicato.
Morte di Copernico.
1544 Stiphelius (Stifels): algebra. Recorde: algebra.
1545 Cardano: algebra; regole delle equazioni cubiche.
1546 Ticone Brahe nasce.
1558 Werner: analisi geometrica. Pelitarius: equazioni algebraiche.
1560 Bombelli: algebra.
Guglielmo, Langravio di Assia: astronomia. Rothmann. J. Birgius. B. Porta: magia naturalis; ottica.
1561 Nasce Francesco Bacone.
1564 Nasce Galileo.
1571 Nasce Keplero.
1572 Ticone Brahe, protetto da Federigo re di Danimarca: osservatorio di Uranisburgo.
1575 Maurolico: ottica: geometria.
1576 Inclinazione dell'ago: Norman.
1577 Guido Ubaldi: meccanica.
1580 Harriot: *equazioni algebraiche* (non pubblicate sino al 1631).
1582 Riforma del Calendario da Gregorio XIII.
1585 Benedetto: matematiche.
1589 Galileo professore a Pisa: gravi cadenti; opposizione ad Aristotile.

1590 Vieta: equazioni algebraiche; sezioni angolari.
Alberto Girard: quantità negative (pubblicate nel 1669).
Gilbert: magnetismo; elettricità.
1592 Galileo a Padova: trattato sulla meccanica.
1596 Mysterium cosmographicum di Keplero. Nascita di Cartesio.
1598 Wright: curve trigonometriche.
1600 Stevin: piano inclinato; fondazione della statica. Bruno arso.
1601 Morte di Ticone Brahe.
1602 . . . .
1603 . . . .
1604 . . . .
1605 . . . .
1606 . . . .
1607 . . . .
1608 . . . .
1609 *Keplero*: commentario su Marte. *Due prime leggi.*
Telescopio di Galileo.
1610 Satelliti di Giove scoperti da Galileo.
1611 Macchie del sole: Saturno ecc. Keplero: ottica; occhio.
De Dominis: arcobaleno.
1612 . . . .
1613 Termoscopio di Galileo; leggi d'idrostatica.
1614 Napier: *logaritmi*; formole trigonometriche.
1615 Keplero: stereometria. Foscarini. Galileo: longitudine.
1616 Galileo dinanzi l'inquisizione.
1617 Arco di meridiano misurato da Snell.
1618 *Terza legge di Keplero.*
1619 *Snell: legge di refrazione.*
1620 *Novum organon di Bacone.*
1621 . . . .
1622 . . . .
1623 . . . .
1624 Briggs: arithmetica logarithmica; coefficienti del binomio.
1625 Variazione nella declinazione dell'ago. Gellibrand.
1626 Morte di Bacone.
1627 Tavole Rodolfine: Keplero.
1628 . . . .
1629 . . . .
1630 Morte di Keplero.
1631 Passaggio di Mercurio: Gassendi.
Vernier.
1632 Galileo: *dialoghi sul sistema*; dinanzi l'inquisizione.
1633 Abbiurazione; prigionia.
Cartesio: sistema del mondo.
1634 . . . .
1635 Arco del meridiano. Norwood. Fernel.
Cavalieri: *indivisibili.*
1636 Galileo: dialoghi sul moto.
1637 Cartesio: geometria (pubblicata); diottrica.
1638 . . . .
1639 Passaggio di Venere: Horrox.
1640 . . . .
1641 . . . .
1642 Morte di Galileo. Nasce Newton.
1643 . . . .
1644 Barometro: Torricelli.
1645 Adunanze filosofiche cominciate in Londra.
1646 Nasce Leibnitz.
1647 . . . .
1648 Adunanze filosofiche cominciate in Oxford.
1649 Wallis. Wren. Wilkins. Boyle, ecc.
1650 Telescopio astronomico: Scheiner. Muore Cartesio.
1651 . . . .
1652 Academia Naturae Curiosorum fondata.
1653 . . . .
1654 Macchina Pneumatica: Otto von Guericke.
1655 . . . .
1656 . . . .
1657 Accademia del Cimento fondata.

1658 Huygens: teoria dei *pendoli*; applicazione agli orologi.
1659 Huygens: anello di Saturno ed un satellite.
1660 Wendelein: movimenti dei satelliti di Giove.
1661 . . . .
1662 Pascal muore (sue opere pubblicate dopo). Società Reale di Londra incorporata.
1663 J. Gregory: optica promota; telescopio a riflessione.
1664 Sperimenti prismatici di Newton cominciati.
1665 *Inflessione della luce*: Grimaldi.
Telescopi a quadranti. Picard.
Newton: serie per la quadratura di curve: Teorema del binomio; *principio delle flussioni*.
1666 Prima idea della gravitazione di Newton. Accademia R. delle scienze a Parigi fondata.
Borelli, sui satelliti di Giove; cenno di gravitazione.
1667 Quadrature: Mercator. Wallis.
Fondazione dell' Osservatorio reale di Parigi.
1668 Leggi della collisione: Wren. Wallis. Huygens.
1669 Newton: ANALISI DELLA LUCE; telescopio a riflessione.
Newton professore: lezioni di ottica.
Bartholinus: doppia refrazione.
1670 Huygens: pubblicazione dell'Horologium oscillatum.
Termometro a mercurio: Lana.
1671 Cassini: secondo satellite di Saturno.
L'analisi della luce di Newton è comunicata alla Società Reale.
Ritardo del pendolo all'equatore: Richer. Varin. Des-Hayes.
1672 Microscopio a riflessione di Newton.
Miglioramenti nel telescopio.
Controversie sulle scoperte ottiche.
Inflessione della luce: Hooke.
1673 Hevelius: librazione della luna in longitudine.
1674 Hooke si avvicina alla teoria della gravitazione.
Leibnitz: comunicazione di serie a Oldenburgh.
Colori di strati sottili o lamine: Boyle e Hooke.
1675 Sperimenti di Newton sugli strati sottili, ecc., comunicati alla Società Reale.
Fondazione dell'osservatorio a Greenwich.
1676 Lettera di Newton a Leibnitz: anagramma delle flussioni.
Velocità della luce: Roëmer.
Halley a Sant'Elena.
1677 Lettera di Leibnitz a Newton contenente il *calcolo differenziale*.
Cassini: rotazione di Giove.
1678 Huygens: legge della doppia refrazione; *teoria delle ondulazioni*.
1679 Gravi cadenti e moto elittico: Hooke.
Arco di meridiano misurato da Picard.
1680 . . . .
1681 . . . .
1682 Newton riprende il soggetto della gravitazione.
1683 . . . .
1684 Cassini scopre altri tre satelliti di Saturno.
Discussione sul moto elittico. Hooke. Wren. Halley.
Halley informa la Società Reale dei risultamenti di Newton.
TEORIA DELLA GRAVITAZIONE UNIVERSALE.

1685 . . . .
1686 Marriotte sul moto dei fluidi. Teoremi di Newton comunicati alla Società Reale.
Disputa con Hooke.
1687 *Pubblicazione delle Principia.*
1688 Halley: evaporazione; origine delle fonti.
1689 . . . .
1690 Huygens: Traité de la lumière pubblicato. Roëmer: stromento de' passaggi.
1691 Sistema Newtoniano insegnato in Iscozia da J. e D. Gregory.
1692 Malattia di Newton. Manoscritti perduti in un incendio.
1693 Newton: lettere a Bentley.
1694 Newton: carteggio con Flamsteed sulla teoria lunare.
1695 Newton impiegato alla zecca. Nieuwentyt assale le flussioni.
1696 . . . .
1697 Newton: soluzione di problema della più rapida discesa. Note di Clarke su Rohault. Sistema Newtoniano studiato a Cambridge.
1698 . . . .
1699 Principio della controversia sull' invenzione delle flussioni. De Duillier. Keill. Leibnitz, ecc.
Newton amministratore della zecca e socio dell'Accademia delle scienze. Scala termometrica.
1700 . . . .
1701 La Hire e Cassini riprendono l'arco del meridiano.
1702 Rolle e Gallois assalgono il calcolo differenziale. Difeso da Leibnitz, Bernoulli, ecc.
1703 Newton rinunzia alla cattedra; eletto presidente della Società Reale.
1704 Pubblicazione dell' ottica e di memorie matematiche. Frazioni evanescenti: Bernoulli.
Letture di Keill a Oxford.
1705 Newton fatto cavaliere. Esame delle sue memorie matematiche nel giornale di Lipsia.
1706 . . . .
1707 Arithmetica universalis, pubblicata da Whiston.
1708 Keill risponde al giornale di Lipsia.
1709 . . . .
1710 . . . .
1711 Newton: analysis per æquationes, ecc., pubblicata. Leibnitz appella alla Società Reale.
1712 Relazione e Commercium epistolicum pubblicati.
1713 Desaguliers: letture. Seconda edizione delle Principia per Cotes.
1714 Newton: opinione sulla longitudine.
Stabilimento dell'ufficio di longitudine.
1715 *Metodo degli incrementi di Taylor.*
Leibnitz combatte la dottrina di Newton: risposte di Newton e di Clarke. Divisione dell'anello di Saturno: Cassini.
1716 Problema delle traiezioni.
1717 Comentario di Stirling sulle linee di terz' ordine di Newton.
1718 Arco nel nord della Francia. Deduzione di sferoide oblunga.
1719 . . . .
1720 Elettricità: Gray. Halley sulla teoria della luna.
1721 Cotes: Harmonia mensurarum.
1722 Variazione giornaliera dell'ago. Graham.
1723 . . . .
1724 Bernoulli: sulla comunicazione del moto. Discussione sulla Vis viva.

1725 Terza edizione delle Principia da Pemberton.
1726 . . . .
1727 Newton muore. Aberrazione scoperta da Bradley.
1728 . . . .
1729 . . . .
1730 . . . .
1731 Quadrante di Hadley.
1732 Du Fay: elettricità.
1733 Integrazioni: Clairaut.
1734 Vescovo Berkeley combatte le flussioni nell'Analista.
1735 Arco misurato da La Condamine al Perù, e da Maupertuis nella Lapponia.
Sferoide stiacciata dedotta. Attrazione delle montagne.
1736 Pubblicazione delle flussioni di Newton per Colson.
1737 Dinamica: Clairaut.
1738 . . . .
1739 Rettificazione dell'errore della sferoide oblunga.
1740 Maclaurin: sulla figura della terra per teoria.
1741 . . . .
1742 . . . .
1743 Clairaut: figura della terra.
D'Alembert: *dinamique.*
1744 Euler: problemi isoperimetrici.
1745 *Nutazione*: Bradley. Clairaut: perturbazioni.
1746 Bottiglia di Leyden: Muschenbroeck.
1747 Franklin: identità dell'elettricità e del fulmine. Vibrazione di corde musicali: D'Alembert.
1748 Euler: sulle *perturbazioni* dei pianeti.
1749 Cronometri: Harrison. Nascita di Laplace.
1750 Arco in Italia misurato da Boscovich. Quadrante murale ecc. impiegato da Bradley a Greenwich.
1751 . . . .
1752 La Caille: osservazioni al Capo di B. Speranza.
Euler: seconda memoria sulle perturbazioni.
1753 . . . .
1754 Dilatazione pel calore: Smeaton.
1755 Riccati: analisi.
1756 . . . .
1757 Landen: analisi dei residui.
1758 Cometa predetta da Halley.
Telescopio acromatico: Dollond.
1759 Teoria matematica dell'elettricità. Æpinus. Boscovich: Teoria della materia.
1760 . . . .
1761 Integrazioni: Euler.
1762 Calore latente: Black.
1763 . . . .
1764 Cronometri di Harrison ricompensati.
Arco in America. Mason.
1765 . . . .
1766 . . . .
1767 Résolution des équations: Lagrangia.
1768 . . . .
1769 . . . .
1770 . . . .
1771 Elettricità: Cavendish.
1772 Développement des fonctions: Lagrangia.
1773 . . . .
1774 Attrazione delle montagne: Maskelyne.
Densità della terra.
1775 Maree: Laplace.
1776 Équations différentielles: Lagrangia.
1777 Développement des fonctions: Laplace
1778 . . . .
1779 Elettricità: lord Stanhope.
1780 . . . .
1781 Urano scoperto da Herschel. Wilke; Calore specifico. Strofinamento: Coulomb.
1782 . . . .
1783 Nebulose, ecc.: Herschel.

1784 Calcul des *variations*: Lagrangia.
1785 Elettricità: Coulomb.
1786 Integrazioni: Legendre. Idraulica: Du-Buat.
1787 Connessione trigonometrica delle osservazioni di Greenwich e di Parigi.
Principio della misura trigonometrica dell'Inghilterra.
Teoria lunare: Laplace.
1788 *Mécanique analytique*: Lagrangia.
1789 Gran telescopio di Herschel. Due altri satelliti di Saturno.
1790 . . . .
1791 *Galvani e Volta.*
1792 . . . .
1793 Englefield sulle comete.
1794 . . . .
1795 Théorie des probabilités: Laplace.
1796 *Théorie des fonctions*: Lagrangia.
1797 Catalogo di stelle: Bode.
1798 Attrazione: Cavendish.
1799 MÉCANIQUE CÉLESTE: LAPLACE. Supplimenti pubblicati successivamente.
1800 Luce e calore solare: Herschel. Arbogast; calcul des dérivations.
1801 Raggi disossidanti: Ritter.
Cerere scoperto da Piazzi. Colori vergati, ecc.: Young.
Spence: analisi.
1802 Pallade scoperto da Olbers. Linee nello spettro: Wollaston.
1803 Sistema binario di stelle doppie: Herschel.
INTERFERENZE: YOUNG.
1804 Giunone scoperto da Harding. Leslie sul calore ecc. Idraulica: Prony.
1805 Attrazione capillare: Laplace.
1806 Compimento dell'arco Francese da Dunkerque a Barcellona: Méchain e Delambre.
1807 Vesta scoperto da Olbers. Satelliti di Urano: Herschel.
1808 Teoria planetaria: Lagrangia.
1809 Gauss: Theoria motus. Prevost: calore radiante. Attrazioni di sferoidi: Ivory. Gauss. Acustica: Chladni.
1810 *Polarizzazione della luce*: Malus.
1811 *Colori in lamine cristallizzate* per via di luce polarizzata: Arago e Brewster indipendentemente.
1812 Colori nella mica per via della luce polarizzata: Biot. Nel quarzo; teoria: Biot (continuato al 1818).
1813 Teoria lunare: Laplace. *Anelli polarizzati* (a un sol asse): *Brewster.*
1814 Teoria della rugiada: Wells.
1815 Parallasse: Pond e Brinkley (continuato sino al 1825).
Teoria delle onde: Poisson e Cauchy.
1816 Teoria della fiamma; lampada di sicurezza: Davy.
Stabilità del sistema: Poisson.
Interferenze della luce polarizzata: *Fresnel.* Colori in vetri non ricotti, ecc. Brewster. Calcolo delle funzioni: Babbage. Integrazioni: Bromhead.
1817 Berard: calore radiante: anelli o circoli a due assi: Brewster.
Integrazioni: Herschel.
1818 Dulong e Petit: legge del raffreddamento e calore specifico.
Kater sul pendolo. Seebeck sul calore prismatico.
1819 *Elettro-magnetismo*: *Oërsted.* Tinte polarizzate: Herschel. *Cometa periodica*: *Encke.* Assorbimento della luce: Brewster.
Cristalli a due assi: Biot. Leggi

del magnetismo: Barlow. Serie: Babbage. Equazioni: Horner.

1820 Fondazione della società astronomica. Struve: stelle doppie.

1821 Magnetismo: Scoresby. Sabine, ecc. Elettro-magnetismo; Ampère, Arago. Davy, ecc. Estensione dell'arco a Shetland e Minorca: Biot e Arago. Attrazioni di sferoidi: Ivory. Analisi: Cauchy.

1822 *Stelle doppie*: Herschel e South. Termo-elettricità e termo-magnetismo: Seebeck. Cumming Moll. ecc. Savart: acustica.

1823 Velocità del suono: Moll e Van Beek.

Effetto del calore sui cristalli: Mitscherlick. *Condensazione dei gassi*: Faraday.

Frauenhofer: linee nello spettro.

1824 Perturbazioni: Bessel. Stelle doppie: Herschel e South (continuato al 1826). *Sistema di raggi*: *Hamilton*.

1825 Pendolo: Sabine. Figura della terra. Biela: cometa.

Figura dell' equilibrio: Ivory (continuato al 1831).

Magnetismo per rotazione: Barlow. Christie. Babbage. ecc. (continuato al 1827).

Calore radiante: Powell e Ritchie (contin. al 1826-7).

Sezioni angolari: Poinsot.

1826 Atmosfera: Dalton. Luce e Magnetismo: Christie. Mad. Somerville. Parallasse: Herschel.

Compressione dell'acqua; Perkins. Magnetismo: Parry. Foster. Christie ecc. (continuato al 1827).

1827 Teoria solare: Airy (continuato al 1828). Muore Laplace. Pouillet: Meteorologia.

1828 Osservazioni astronomiche a Paramatta: Dunlop e Brisbane.

Endosmosi ed exosmosi: *Dutrochet*.

1829 Lente fluida: Barlow (continuato 1831, 1833). Colori di superficie scanalate: Brewster.

1830. Compressione e doppia refrazione. Analisi della luce: Brewster. Polarizzazione metallica: Brewster.

Pendolo: Sabine. Astronomia fisica: Lubbock (continuato 1831, 1833).

Airy: *Teoria ondulatoria*: Modificazione degli anelli o circoli di Newton. Polarizzazione elittica ecc.

Cauchy: Dispersione della luce dietro alla teoria ondulatoria.

1831 *L' associazione Britannica per l'avanzamento della scienza* cominciò le sue adunanze a York.

Scintilla elettrica dalla magnete: Faraday. Nobili, Forbes.

Elettro-magnetismo: Barlow. Fox, ecc. Trascendenti ellittiche: Ivory.

Maree: Lubbock (continuato 1832, e Whewell 1833). Calore radiante: Nobili e Melloni.

1832 Ineguaglianza di Venere: Airy. Perturbazioni: Ivory.

Elettricità: Faraday. Atmosfera di Marte: South. Adunanza dell' associazione Britannica a Oxford.

1833 Adunanza a Cambridge. ecc. ecc. ecc.

STORIA

DEL PROGRESSO

DELLE

SCIENZE FISICHE E MATEMATICHE

DAI TEMPI PIÙ ANTICHI SINO AI PRESENTI

Osservazioni preliminari

In una collezione sistematica di trattati sui diversi rami dell'umano sapere, e più particolarmente in quello che riguarda le verità fisiche e matematiche, l'oggetto delle opere che sono di proposito scientifiche, si è di presentare, in quell' ordine che sia meglio adattato all'istruzione elementare, un quadro connesso dei principii e dei risultamenti di ciascuna parte della scienza. Havvi tuttavia un' altra classe di trattati di un più misto carattere, in cui l' esattezza della discussione scientifica può associarsi coi modi più leggeri dello stile narrativo, e il cui oggetto non è già di rappresentare o di spiegare i fatti, i raziocinii o le conclusioni stesse, ma piuttosto di narrare la storia di quella concatenazione di avvenimenti e di circostanze per cui vennero originariamente in luce; e di trasmettere altrui

la memoria dei gloriosi lavori di quegl'illustri individui, al cui ingegno e alle cui fatiche andiamo debitori della scoperta di nuove verità e delle nuove applicazioni di quelle che erano già conosciute. In questa classe vuol esser posto il seguente volume.

La provincia della storia è stata ordinariamente limitata a narrare gli avvenimenti connessi colle rivoluzioni degli stati e degl'imperi. Quindi il più delle volte essa non ha offerto altro che una varia rappresentazione d' intrighi e di violenza; gli artifizi dell' ambizione e le calamità della guerra; i delitti e le miserie del despotismo e dell' anarchia. La curiosità della moltitudine è per l'ordinario cattivata dall'eccitamento e dalla pompa di siffatte scene. Ma la contemplazione del tranquillo progresso dell'incivilimento, delle arti della vita, e delle lettere che con quelle si connettono, è comparativamente priva di stimolo, ed è per conseguenza assai meno attraente per l'universale, anche ne'casi che questi soggetti trovassero luogo nella narrazione di uno storico giudizioso.

Questo più specialmente avviene in ciò che riguarda il progresso della *scienza astratta*. Intimamente collegata siccome è in fatto coll'avanzamento delle arti, e soprattutto col miglioramento intellettuale del genere umano, i suoi effetti sono tuttavia remoti e non facili a rintracciarsi; e i soggetti delle sue investigazioni hanno un'apparenza così astrusa che generalmente sono poco studiati od intesi. Epperò la storia della scienza appena può dirsi che ecciti in alcun tempo l'interesse o l'attenzione popolare. L' opinione comune è persino stata sfavorevole alla scienza fisica. I suoi cultori furono tenuti come una razza d'uomini in certo modo separati dal rimanente del mondo ed immersi in occupazioni

con cui la massa del genere umano non ha simpatia. Le loro specolazioni sono credute poco applicabili ad alcun utile oggetto, e spesso sono riguardate come se fossero di dubbia ed anche pericolosa tendenza. Quindi il sospetto, l'avversione e il ridicolo con cui la coltivazione della scienza fu per l'ordinario accolta; cosicchè non è da maravigliarsi che il segnare il suo progresso nelle diverse età non sia stato riconosciuto come parte legittima dei doveri della storia.

Pertanto un tentativo di supplire a questo difetto è certamente divenuto necessario. E quantunque molti preziosi e particolareggiati ragguagli su questa materia siano da vedersi in varie opere di proposito scientifiche, tuttavia l'abbozzo che qui ne offriamo non sarà senza vantaggio, se per fortuna potesse rimuovere alcuno dei pregiudizi o degli errori de' quali abbiamo parlato, e desse alla storia scientifica una forma abbastanza attraente da fissare l'attenzione del lettore ordinario. Nè il difetto di profonde cognizioni scientifiche per parte del lettore vuol essere un ostacolo insuperabile al ricavare qualche diletto dalla lettura delle memorie delle scoperte fisiche; poichè questa storia non debb'essere una sterile annotazione di date, di nomi e d'invenzioni. Nelle ricerche filosofiche una verità così strettamente dipende da un'altra, che la storia delle scoperte quasi sempre ci presenta la storia e l'ordine della deduzione del vero. Le più recenti invenzioni, generalmente parlando, non possono rendersi intelligibili finchè non siamo a parte delle antiche; così nello scriverne la storia, spesse volte si dichiarano in fatto i principii della scienza.

Nel seguente rapido abbozzo sarà tuttavia nostra cura principale di evitare, per quanto sarà possibile,

ogni arida ed astrusa investigazione, e di non introdurre altro di tecnico se non quello che sarà assolutamente necessario per rendere l'enunciazione dei fatti intelligibile. Nel far questo, troveremo generalmente che l'aspetto sotto il quale dovremo riguardare il progresso dell'invenzione, somministrerà egli stesso i mezzi di spiegare le cose tecniche, le quali procureremo sempre d'illustrare nel modo più familiare che la natura del soggetto potrà permettere.

Quando s'intraprende un'ampia investigazione, è sempre vantaggioso e gradevole il trovare che nel soggetto si presentino grandi e naturali punti di divisione. Questi tengono luogo di altrettanti segnali o fari sui quali lo sguardo può riposarsi, e che grandemente ci aiutano a giudicare della nostra posizione e del progresso che facciamo. Nel delineare la storia delle scienze fisiche e matematiche dai tempi più antichi sino ai presenti, troveremo tre divisioni principali offerirsi naturalmente con ben determinate differenze di carattere nella scienza dei diversi periodi; differenze intimamente connesse con cause che influirono su tutta la condizione dell'umana società in ciascuna di quelle epoche. Queste principali divisioni del nostro soggetto saranno le seguenti:

1° Progresso della scienza presso gli antichi;

2° Sua condizione dal Medio Evo sino ai tempi di Newton;

3° Suo avanzamento dalle scoperte di Newton sino al giorno presente;

Sotto ciascuna di queste gran divisioni daremo una descrizione delle cognizioni fisiche di quei tempi, con tutta quella chiarezza che i limiti ne concederanno e che sarà consentanea con la natura di un'illustrazione

intieramente popolare. Procureremo di chiamare principalmente l'attenzione dei lettori su quelle maggiori ricerche e scoperte che diedero un carattere alla scienza dell'epoca, o furono notevoli per aver aperto la strada alle più preziose invenzioni de' tempi posteriori, e per aver prodotto i più benefici risultamenti nel miglioramento della specie umana in sapere e in felicità. Noi prevediamo tuttavia che molti soggetti di considerevole importanza verranno a presentarsi, i quali dovremo lasciar da parte senza darne quella notizia che meriterebbero; ma ciò non accadrà se non quando non potranno essere adeguatamente discussi senza entrare in particolari assolutamente incompatibili col nostro disegno.

PARTE PRIMA

PROGRESSO DELLA SCIENZA FISICA E MATEMATICA PRESSO GLI ANTICHI

—

Il primo periodo della storia scientifica che qui ci proponiamo di esaminare, è per ogni rispetto interessantissimo. Esso è strettamente connesso con le memorie di quelle celebri nazioni, le cui lingue, e la storia e le istituzioni delle quali occupano tanta parte dei nostri studi giovenili. Esso ci mena alla contemplazione di que' primi rudimenti della verità scientifica, i quali servirono di fondamento a tutto il moderno edifizio che vi fu sopra innalzato; mentre il modo con cui quelle speculazioni furono fatte, e gli errori e le stravaganze con cui frequentemente si mescolarono, ci somministreranno molte utili cautele intorno alla via più sicura di attendere alla verità filosofica.

Troveremo che questo periodo naturalmente e acconciamente si suddivide in tre parti: la prima delle quali dalle più antiche memorie viene alla fondazione della scuola di Alessandria circa l'anno 300 A. C.; la seconda continua sino alla decadenza di quella scuola; e la terza abbraccia lo stato della scienza dall' epoca dell' impero Romano sino alla sua dissoluzione.

SEZIONE I

Progresso della scienza dalle più antiche memorie sino alla fondazione della scuola di Alessandria, 300 anni A. C.

Origine della scienza

Nel tentare di scoprire i vestigi dell'antica scienza ci troviamo avvolti in non picciola confusione ed incertezza, pel conflitto di varie e spesso fittizie pretese. Oltrecciò il modo oscuro col quale l'espressione di molte opinioni e di molti fatti ci è stata tramandata, spesso ci lascia in grandissimo dubbio intorno alle vere idee e alle scoperte di alcuni dei più eminenti filosofi.

Nella dilucidazione di questi dubbi i migliori critici hanno impiegato le loro fatiche; e quantunque su di alcune di coteste questioni prevalga una notevole differenza d'opinione, esse sono state oramai così pienamente discusse, che la maggior parte di esse possono essere considerate come definitivamente decise; cosicchè possiamo prevalerci delle decisioni di alcuni recenti autori con pienissima confidenza nelle salde ragioni cui sono appoggiate. Epperò noi ci limiteremo in generale a seguire quell'opinione che, esaminate le autorità addotte, ci parrà avere la maggiore probabilità; riferendole tuttavia entrambe quando troveremo che l'una e l'altra abbiano diritto ad una presso chè uguale considerazione.

La classe particolare di scoperte e d'invenzioni di cui ci proponiamo in primo luogo di parlare, sarà meglio compresa, distinguendo chiaramente ciò che propriamente cade nella designazione di avanzamento

nella verità filosofica. Non ogni invenzione, per ingegnosa che sia, si può giustamente riferire a questo titolo, nè ogni processo dell'arte può essere attribuito a un principio filosofico, a meno che la conoscenza del principio realmente conducesse all'applicazione pratica. Il progresso delle *arti* adunque non sarà indicato se non in quanto sarà stato connesso con quello della scienza; e in quanto l'esperienza pratica avrà condotto al suggerimento di principii astratti, ovvero le invenzioni meccaniche saranno state l'effetto di un raziocinio filosofico.

Nei primi tempi dell'umana società, l'arte ha dovuto precedere la scienza. I bisogni immediati della vita svegliarono primamente l'invenzione, e non fu, certo, se non in un tempo d'assai posteriore che la mente umana ebbe agio di ricavare dagli oggetti delle sue giornaliere osservazioni gli elementi di pensieri filosofici, o potè essere indotta a specolare sulle cause e sugli effetti. Per conseguenza dobbiamo aspettarci un progresso sino a un certo punto considerevole nelle arti pratiche, assai prima che si trovino tracce di scienza specolativa. La storia Mosaica fa risalire sino alla stessa prima epoca l'uso dei metalli, la costruzione di strumenti musicali, e qualche progresso nelle varie arti della vita. Ma non troviamo alcuna distinta allusione ad una coltivazione di scienza propriamente detta.

Astronomia antica

Fra tutte le scienze, l'astronomia è probabilmente quella che può pretendere alla più antica origine; ma nel parlare dell'astronomia delle età remote dobbiamo intendere questo vocabolo in un senso assai limitato

e ristretto. Non dobbiamo imaginarci nè specolazioni estese quanto quelle cui siamo ora avvezzi a dar questo nome, nè osservazioni fatte con quell' accuratezza e quella regolarità che adesso stimiamo essenziali a dare il carattere di risultamenti scientifici. L'astronomia dei primi tempi si limitava probabilmente a notare i fenomeni più ovvii dei movimenti e degli ecclissi del sole e della luna; il levarsi e il tramontare delle principali stelle fisse; le posizioni apparenti dei pianeti fra loro: e i mezzi di osservare non erano altri se non quelli che somministravano l' uso dell'occhio nudo ed alcuni dei più semplici e più rozzi stromenti. Il progresso del sole nella sua orbita apparente era seguitato mercè dell'osservazione di diverse stelle conosciute, le quali in differenti parti dell' anno si perdevano successivamente nei crepuscoli, e della variazione nella lunghezza dell' ombra di un dato oggetto o *gnomone* su di un piano orizzontale, osservata in quella parte del giorno in cui era più corta. Per riconoscere le stelle fisse il cielo fu diviso in costellazioni o gruppi, nei quali coll'aiuto di una feconda immaginazione, si riconobbe qualche somiglianza di figura con le forme de' varii oggetti i cui nomi furono loro assegnati.

Essi sono chiamati con questi nomi distintivi nelle più antiche memorie che possediamo, cioè nei libri dell' antico testamento e particolarmente in quello di Giobbe, il quale alcuni critici hanno stimato essere ancora più antico di quelli di Mosè (1).

Quella parte o zona del cielo entro i cui limiti le vie del sole e dei pianeti si trovarono essere confinate, ricevette il nome di zodiaco, ed inchiuse dodici notevoli

(1) Vedi Cronologia di Hales, ii. 57.

costellazioni chiamate segni, relativamente alle quali le posizioni dei corpi mobili furono determinate. Tutti confessano che l'origine dell'osservazione astronomica è dovuta all'Oriente; ma quale sia il popolo particolare presso cui ha cominciato, e in che tempo seguisse, sono cose che non si possono chiarire. È assai probabile che il suo principio fosse simultaneo presso varie delle più antiche nazioni, e il suo progresso debb'essere stato così lento da rendere impossibile il fissare alcun preciso periodo al suo cominciamento, quand'anche la nostra conoscenza della remota antichità fosse più compiuta che non è. Frattanto non è soggetto di riflessione privo di allettamento il considerare le circostanze probabili che accompagnarono la prima coltivazione di questa scienza. Il bel clima e la trasparente atmosfera delle regioni orientali fanno del cielo un oggetto di splendore assai più sorprendente e incantevole che non appaia fra noi; e le abitudini di vita pastorale erano tali presso i popoli di quelle regioni, da invitarli alla notturna contemplazione del glorioso spettacolo che avevano dinanzi agli occhi. Il più stupido intelletto non poteva non essere colpito da ammirazione e da curiosità, e non riconoscere alcuni dei più ovvii cambiamenti che, come facilmente poteva scorgere, accadevano fra gli splendidi oggetti alla sua vista schierati. Allorchè si vide che quei cambiamenti erano strettamente connessi con quelli delle stagioni, altri motivi di utilità pratica dovettero mischiarsi allo spirito di contemplazione; e l'importanza de'fenomeni celesti, collegati colle istituzioni della civile società e coi lavori dell'agricoltura, fu gradatamente cagione di più estese e più precise osservazioni. Nè mancarono certamente altre ragioni nate dalla naturale influenza di quei sentimenti di religioso timore col quale

le più gloriose parti dell'universo visibile hanno dovuto essere contemplate; e mentre la loro vera natura era sconosciuta, e non si era fatto ancora alcun passo verso l'intelligenza delle leggi e delle cause dei loro movimenti, non era cosa straordinaria che quell'adorazione, la quale non può propriamente trarre origine se non da una percezione di causalità e di disegno per sollevarsi al grande autore di questo, si sia degradata sino ad una bassa superstizione rivolgendosi agli stessi corpi celesti.

Immediatamente connessa con questi ultimi motivi era pure l'applicazione di una conoscenza delle stelle agli oggetti dell'astrologia. Il desiderio di conoscere il futuro, uno dei più radicati nelle menti degl'ignoranti, fu appagato tosto che le osservazioni astronomiche ebbero abbastanza progredito per riconoscere quei periodi chiamati cicli, nei quali i moti e le configurazioni celesti ricorrevano. La predizione delle apparenze future del cielo, e soprattutto degli ecclissi, indusse gl'ignoranti a sperare, e i dotti troppo frequentemente a nutrire l'altrui speranza, che altri avvenimenti potrebbero pure essere predetti. Quindi la combinazione di motivi che fomentò la coltivazione dell'astronomia, e le diede un carattere sacro nei primi tempi della società umana. Le apparizioni di ecclissi e di comete furono riguardate come pronostici di sventure e di pubbliche calamità. Le congiunzioni e le configurazioni dei pianeti vennero considerati come aventi un'influenza sulla fortuna degli stati e delle persone; e così i loro movimenti furono studiati, talvolta con migliori motivi, ma assai generalmente col disegno di farli servire alla predizione di avvenimenti futuri, e non di rado perchè l'iniziato ne traeva un potere sulla moltitudine e il sacerdote uno

stromento ai suoi artifizi. Non è pure improbabile che in molti casi si facesse uso di pretesti consentanei alla superstizione popolare per meramente scusare e proteggere il vero investigatore scientifico, i cui studi, se fossero stati apertamente professati, sarebbero divenuti segno ai rimproveri ed al riso, od anche all'opposizione ed alla persecuzione, tanto per parte del popolo, quanto per quella de' governanti egualmente incapaci di apprezzarli. Imperciocchè valendosi di qualche motivo più conforme ai timori del volgo, e specialmente di uno che si riferisse alle sue superstizioni, egli era evidente che si sarebbe a un tratto ottenuto il suo rispetto ed accresciuta la sua riverenza per l'individuo occupato di così sublimi oggetti.

Parecchie delle antiche nazioni hanno preteso che i loro progressi in astronomia fossero considerevoli a certe epoche dell'antichità, più remote che una ragionevole probabilità non farebbe supporre. Così i Cinesi e gl' Indiani fanno risalire le loro memorie astronomiche a 3000 anni circa prima dell'Era cristiana, e i Caldei a più di 2000. Ma sebbene queste stravaganti pretese non siano appoggiate ad alcuna prova, e non si accordino con la probabilità, si hanno tuttavia buone ragioni di credere che la scienza avesse fatto qualche progresso fra quelle nazioni più di mille anni prima della nostr' Era.

Caldei

L'antichità dell' astronomia Caldaica ha per fondamento l'autorità di Porfirio, il quale dice che Callistene trasmise ad Aristotile una serie di osservazioni fatte a Babilonia, durante un periodo di 1903 anni,

prima che quella città cadesse nelle mani di Alessandro, il che risale a circa 2234 anni A. C. — Tolomeo, il quale ne fece poscia grand'uso, non ne cita tuttavia alcuna che sia anteriore all'anno 720. E se questo non è certamente una prova contro l'esistenza di una data più antica, esso almeno somministra senza alcun dubbio una forte presunzione.

Queste antiche osservazioni, quantunque probabilmente fossero assai rozze, sono tuttavia particolarmente da pregiarsi, siccome quelle che hanno offerto i primi materiali per quei paragoni dello stato del cielo in lontani periodi, per cui i gran cambiamenti progressivi nel nostro sistema furono prodotti alla luce.

Pare che i Caldei abbiano trovato con una considerevole accuratezza, la lunghezza di quel ciclo rimarchevole di 6585 giorni ed 1/3, ovvero di circa 18 anni, nel quale le serie delle rivoluzioni della luna sotto le medesime condizioni per rispetto a quelle del sole vengono di nuovo a ripetersi, di modo che la stessa serie di ecclissi verrà con quasi eguale precisione a ricorrere. Con questo mezzo furono in grado di predire gli ecclissi con qualche accuratezza. Essi osservarono, con gran diligenza, i movimenti dei pianeti (1); e secondo la testimonianza di alcuni (che è pure da altri contraddetta), sembra che si siano formata una giusta idea della natura delle comete. Erodoto (2) attribuisce loro la divisione duodecimale del giorno e l'uso del gnomone.

(1) Diod. Sic. ii. 8. (2) ii. 109.

Cinesi

La nostra conoscenza dell'astronomia Cinese è intieramente dovuta alle laboriose investigazioni dei missionari Gesuiti stabiliti in quel paese, e in particolare alle opere del Padre Gaubil (1). Le memorie Cinesi accennano la data di 2461 A. C., in cui asseriscono che seguisse una notevole congiunzione di cinque pianeti. Questo punto è stato lungamente discusso; e al postutto sembra assai probabile che fosse puramente un'epoca fittizia trovata calcolando all'indietro. Essi fanno pure menzione di un ecclisse solare nel regno dell'imperatore Tchong Kang, per cui i due primi astronomi che avevano trascurato di predirlo furono messi a morte. A questo si assegnano date che variano fra gli anni 2159 e 2128 A. C. Calcolando all'indietro, su dati moderni, Gaubil ed altri trovano un ecclisse nell'ultimo degli anni sovra indicati, ma i dati sono così compiutamente incerti, che non si può dar gran peso a quest'asserzione. Per molti secoli dopo non si fa più parola di ecclissi.

Si vuol per altro dare una maggiore importanza alla memoria che si trova di un'osservazione intorno alla lunghezza dell'ombra di un gnomone paragonata nei solstizi di state e d'inverno circa l'anno 1100 A. C. L'obliquità dell'eclittica che ne è dedotta si trova concordare assai da vicino con quella che risulterebbe dal calcolo moderno della diminuzione dell'obliquità fondata sulla teoria della gravitazione; questa concordanza è tanto più notevole in quanto che la diminuzione non

(1) Vedi Storia dell'astronomia; Bibl. delle cognizioni utili, p. 2. e seg.

era nota a Gaubil. Osservazioni fatte in circa alla medesima epoca sulla posizione del solstizio d'inverno, paragonate con altre fatte verso l'anno 600 A. C. furono parimente trovate concordare con deduzioni dalla legge della precessione degli equinozi. Durante il periodo scorso tra gli anni 720 e 481 A. C. si trovano notate le osservazioni di molti ecclissi, parecchi dei quali furono verificati con un calcolo retrogrado; e le apparizioni di molte comete sono pur anche descritte. Nella Cina il regolamento del calendario e la predizione degli ecclissi erano considerati come cosa d'importanza nazionale, e si era stabilito un tribunale matematico per la soprantendenza all'astronomia; ma l'ostinato amore dei Cinesi per tutto ciò che è stabilito dall'uso si estese alla loro astronomia ed impedì ogni miglioramento nella scienza.

Tale è il quadro dell'astronomia Cinese ricavato da autorità di gran peso. Il sig. Davis (1) ha tuttavia mantenuto una diversa opinione, sostenendo dopo una elaborata disamina, che nulla di realmente originale nella scienza astronomica è da attribuirsi ai Cinesi, i quali egli riguarda come affatto ignoranti de' suoi oggetti e de' suoi principii, prima che gli Arabi l'introducessero fra loro nel medio evo.

Intorno a questo soggetto egli dice: « Quella singolare nazione ha deviato dai suoi radicati pregiudizi e dalle sue massime contro l'introduzione di ciò che è straniero, — ricevendo persino gli errori dell'astronomia europea »; poichè egli ha scoperto in un libro Cinese l'esatta rappresentazione del sistema di Tolomeo. Quindi egli aggiunge, « essere impossibile il non sorri-

(1) Trans. filos. 1823.

dere all'idea di attribuire qualche scienza ad un popolo i cui libri scientifici sono pieni di goffaggini quali sono i diagrammi di Fo-hi, e cento altre puerilità del medesimo genere ».

Il Davis somministra parecchie altre prove della propensione dei Cinesi ad appropriarsi le scoperte degli altri popoli. Egli dimostra pur anche che non avevano anno solare, ma impiegavano meramente un periodo di dodici mesi lunari alternativamente di ventinove e di trenta giorni, coll'intercalazione triennale di un tredicesimo mese per farlo corrispondere più esattamente col corso del sole.

La vanità nazionale dei Cinesi gli ha pure indotti a pretendere in altre parti della scienza di aver avuto una conoscenza egualmente antica di alcuni dei fatti più importanti. Secondo essi, prima di 1200 anni A. C. avrebbero conosciuta la bussola; e molti dei teoremi fondamentali della geometria e della stessa trigonometria avrebbero avuto origine presso di loro. L'assoluta mancanza di sincerità che in essi si è scoperta, e la loro inclinazione ad appropriarsi le invenzioni altrui, fanno che oramai non si presti gran fede alle loro pretese.

Indiani

Si sono portate dall'India tavole astronomiche che si pretendevano avere un'enorme antichità. Le prime le importò da Siam il sig. De la Loubère nel 1687; e a queste si aggiunsero poscia parecchie altre collezioni e particolarmente quelle di Tirvalore, Chrisnabouram, ecc. Queste tavole diedero occasione a gran discussioni. Esse si riferiscono all'anno 3102 A. C., e la verità di questa data è stata sostenuta con gran dottrina e

grande ingegno da Bailly (1), mentre fu tenuta affatto fittizia da Laplace (2), Bentley e Davis (3). Si è pur fatto un rigoroso squittinio di un antico trattato di astronomia chiamato il Surya-Siddhanta; e pare oramai ammesso dalle persone più atte a portarne giudizio, essere stato costume presso gl' Indiani di prendere per epoca una fittizia congiunzione generale, ottenuta da un calcolo retrogrado, coi movimenti medii rispettivi attribuiti ai vari pianeti. Laplace ha addotto ragioni assai probabili di credere che le *tavole* siano di una data comparativamente moderna, forse non anteriore a' tempi di Tolomeo (150 E. V.); quantunque non sia da dubitare che la coltivazione dell'astronomia è di un'antichità assai maggiore. L'età del Surya-Siddhanta è stata fissata da Bentley intorno all'anno 1000 A. C.

Le tavole Siamesi assegnano certi cicli dei movimenti del sole e della luna, i quali danno le lunghezze dell'anno sideroo e tropico, come pure la rivoluzione lunare, quasi in tutto concordi con le moderne determinazioni. Aryabatta, uno degli antichi astronomi Indiani (del quale non si conosce l'età), sosteneva la dottrina della rotazione della terra, come pure la sostenne Bramah-Gupta ad un periodo di tempo molto più recente. Essi non ignoravano certamente alcune delle ineguaglianze principali nei movimenti del sole e della luna. È stato soggetto di controversia se non abbiano tolto queste idee dall' astronomia dei Greci. Sir W. Jones riguardava questa supposizione come improbabile a cagione della nota avversione dei Bramini pegli stranieri in generale e pei Greci in particolare.

(1) Astronomie Indienne. (2) Syst. du monde, liv. v.
(3) Asiatic Researches, ii.

Da un'altra parte il sig. Colebrooke ha citato un passo de' loro scrittori che riconosce la superiorità dei Greci in astronomia.

V'è gran probabilità che gl' Indiani avessero già fatto in tempi remoti un progresso considerevole nelle scienze matematiche. Pare che da buona pezza conoscessero il teorema fondamentale di geometria, che è il 47mo del 1° libro di Euclide, quantunque non se ne possa fissare l'epoca, che è probabilmente anteriore ai tempi di Pitagora, il quale può averlo tolto da loro. Checchè ne sia, essi mostrano molto ingegno nel loro metodo di provarlo, il che fanno con principii piuttosto analitici che geometrici. E per verità appare dalla testimonianza di tutti coloro che hanno investigato la letteratura Indiana, che quei popoli si distinsero per tempo per la loro conoscenza dell' algebra. Essi mostrarono un'abilità particolare nella soluzione di problemi della classe detta indeterminata; le loro tavole astronomiche provano che conoscevano i principali teoremi della trigonometria sferica; e le loro tavole di seni appaiono essere calcolate per mezzo di differenze seconde. Tutto questo indica certamente un maggiore avanzamento che non avessero fatto le nazioni occidentali anche ad un tempo assai più recente (1).

Egizii

Gli Egizii sembrano aver ottenuta una considerevole celebrità per cognizioni astronomiche in un'epoca remota. Ma poco o nulla si è conservato della loro

(1) Vedi Memoria del prof. Playfair sull' astronomia dei Bramini, Trans. di Edinb. 1792 ii.

astronomia; poichè Ipparco e Tolomeo, sebbene raccolgano osservazioni antiche, non ne danno alcuna di astronomi Egizii, ma ricorrono a quelli della Caldea. Diodoro Siculo c'informa che gli Egizii erano capaci di calcolare ecclissi; ed altri scrittori parlano di memorie di ecclissi osservati. Essi debbono aver raccolto osservazioni per fissare il periodo ricorrente, dal quale deducevano le loro predizioni. Si dice che uno dei più antichi loro re, Osimandia (l'epoca del cui regno è incerta), costruisse un gran circolo notato coi segni del zodiaco. Le loro solennità religiose si regolavano con le rivoluzioni lunari; mentre il loro anno civile era di 365 giorni. Presto tuttavia trovarono che nè l'uno nè l'altro computo corrispondeva al vero anno solare; ma senza curarsi di far concordare i periodi religiosò e civile dell'anno con le stagioni fisiche, si contentarono di osservare la ricorrenza di un periodo di 1461 di simili anni, dopo il quale la successione dei mesi e delle feste tornava alle medesime stagioni. Questo fu chiamato il periodo *Sotaico;* e l'occorrenza di una di queste epoche è indicata all'anno 139 E. V. La precedente era dunque avvenuta l'anno 1322 A. C. — Alcuni scrittori asserirono persino che ve ne fosse un'altra prima di questa. Si ha buon fondamento di credere che gli Egizii tenevano che i due pianeti inferiori, Mercurio e Venere, girassero intorno al sole, accompagnandolo nella sua rivoluzione annua attorno alla terra (1). L'invenzione dei segni del zodiaco fu loro attribuita, sebbene con non bastevole fondamento; e l'odierna esistenza di rappresentazioni del zodiaco in alcuni dei loro tempii è un fatto dal quale non possiamo

(1) Macrobio. Comm. in somn. i. 9.

ricavare cognizioni di molta importanza intorno alla loro astronomia. Coteste rappresentazioni non sono facili a spiegarsi, e varie opposte teorie sono state prodotte sul loro significato. Secondo Dione Cassio (1) gli Egizii furono gl' inventori del periodo di sette giorni distinto dal nome dei pianeti. Di questo si è dubitato; ma per altra parte è certo che questo periodo coi nomi corrispondenti era in uso presso tutte le nazioni orientali e nell' India medesima ad un tempo assai remoto. È degno di osservazione che tutte cominciavano a contare dal giorno dedicato a Saturno; mentre i soli Ebrei consideravano il giorno seguente come il primo.

Poco sappiamo delle cognizioni fisiche degli Egizii, su cui possiamo fare fondamento. Qui come in altri casi troviamo che si mettono innanzi pretese stravaganti le quali sono con eguale ardore sostenute da una parte e contestate dall'altra. Una cosa pare certa, ed è che tutto il sapere di quel paese era concentrato ne' sacerdoti, i quali impiegavano un linguaggio sacro di simboli, impossibile a diciferarsi, se non dagli iniziati; linguaggio che senza dubbio ha potuto essere impiegato a conservare verità e specolazioni filosofiche di pregio; o può avere egualmente servito a rivestire le più assurde superstizioni e i concetti più puerili di quella venerazione che così facilmente si prova per tutto ciò che è nascosto e misterioso.

Si è preteso che l' origine dell' antica geometria debba essere cercata in Egitto, e che i suoi teoremi nascessero dalla necessità di ricorrere ad alcuni principii di misuramento per fissare i termini di quelle terre nelle quali tutti i segnali erano cancellati, dalle

(1) XXXVII. 18.

periodiche inondazioni del Nilo. Questa supposizione non sembra gran fatto probabile nelle sue circostanze; perciocchè non era difficile l'inventare segnali che ovviassero a questo inconveniente; e per altra parte non è bene apparente come i teoremi della geometria astratta potessero applicarsi a quest'uso.

La coltivazione della geometria come scienza ebbe senza dubbio origine dalle concezioni astratte dei filosofi, e non da alcuna delle sue applicazioni meccaniche; non essendo queste di natura da presentarsi alla mente di chicchessia se non come risultamenti di principii che debbono in prima essere stati ben intesi.

Ebrei

Per le antiche loro relazioni coll'Egitto gli Ebrei trassero forse di là tutta la scienza che hanno posseduta; benchè questa non sia mai stata di gran rilievo. Come nazione, non sembra che essi abbiano mai acquistato alcuna inclinazione a coltivare le scienze fisiche. Vi possono essere state eccezioni individuali: — ci si dice che Mosè fu iniziato in tutto il sapere dell'Egitto (1500 A. C.) e in tempi posteriori i loro scrittori attribuiscono al re Salomone (1020 A. C.) gran cognizioni nella storia naturale (L. I, dei Re, IV. 33). Parecchi degli scrittori dell'antico testamento (siccome abbiamo già altrove osservato) fanno allusione alla contemplazione dei corpi celesti, come pure degli altri fenomeni della natura; ma le loro memorie non presentano indizi di specolazione filosofica. Da alcune espressioni che in essi occorrono, possiamo in verità raccogliere che la comune credenza andava d'accordo con la teoria del riposo della terra e del movimento del sole; e la

magnifica descrizione dell' origine del mondo che dà principio al primo libro di Mosè è stata riguardata da taluni come l'enunciazione di un sistema di cosmogonia e di geologia. Ma (senza entrare in questioni estranee) ci pare essere affatto improbabile ch'essa sia stata fatta con questo disegno; e invero non si può mai in cose che riguardano la filosofia, trarre grandi induzioni da passi che (come il presente) occorrono negli scritti consacrati a soggetti di una natura al tutto diversa, e il cui oggetto è quasi esclusivamente religioso.

Scuole greche — Astronomia

L'origine dell'astronomia fra i Greci, come fra le altre nazioni, è avvolta nelle tenebre e nella favola. La prima costruzione della sfera fu attribuita a Chirone, 1300 A. C.; e delle costellazioni si fa menzione da Omero e da Esiodo, 950 A. C.; ma nessuna memoria veramente autentica della scienza ci porta al di là dell'età di Talete e dei filosofi della scuola Ionica, circa l'anno 600 A. C. Si è disputato se Talete non abbia derivato il suo sapere dall'Oriente o dall'Egitto. —Erodoto narra (1) ch'egli predicesse un ecclisse solare memorabile nella storia per l'effetto che operò nel separare gli eserciti combattenti dei Lidi e dei Medi. La data di questo ecclisse è stata soggetto di controversia: Bailly lo fissa all'anno 610 A. C. Quantunque sembri indubitabile che Talete conoscesse la causa degli ecclissi, egli è tuttavia egualmente chiaro che ha dovuto avere accesso ad una lunga serie di osservazioni precedenti per essere in grado di fare di

(1) I. 74.

queste predizioni, e che per conseguenza dovette aver cognizione dell'astronomia dell'Egitto o della Caldea. Sembra probabile che non abbia mai notata in iscritto alcuna delle sue opinioni; e che questo fosse soltanto fatto dai suoi discepoli Anassimene e Anassimandro. Talete tentò di misurare la grandezza apparente del sole e della luna; e pare aver introdotto l'uso del zodiaco nella Grecia. Insegnò la sfericità della terra e l'obliquità dell'eclittica; e alcuni scrittori suppongono che la dottrina del movimento della terra, col vero sistema delle orbite planetarie, fosse da lui mantenuta o almeno da Anassimandro. Tuttavia si ammette generalmente che Pitagora alquanto più tardi la professasse.

Questo illustre filosofo nacque l'anno 590 A. C. a Samo. Viaggiò nell'Egitto e in Oriente, penetrando insino nell'Indie. Da quelle regioni tolse le dottrine sue metafisiche, e probabilmente molto del suo sapere astronomico e matematico. La scuola Ionica dopo l'età di alcuni de' suoi originari ornamenti, si consacrò principalmente alla coltivazione della filosofia morale. Al contrario la scuola Italica fondata da Pitagora, sembra essere stata maggiormente propensa verso lo studio della natura e delle sue leggi. Sebbene nessuna delle parti dell'umano sapere fu esclusa dagli studi dell'una e dell'altra di queste principali divisioni dei savi della Grecia, finchè l'amore delle metafisiche sottigliezze non cominciò ad infettare la scuola Ionica. Queste attrassero tutta l'attenzione, tanto che, sostituendo imaginarie teorie alle realtà della natura, e scambiando parole per cose, si venne a escludere ogni disposizione a ragionare con animo freddo e con chiarezza sulle cause e sugli effetti naturali. A Pitagora

la *filosofia* va debitrice del nome che porta. I suoi predecessori erano soliti a chiamarsi *savi*; egli non aspirò ad altra denominazione che a quella di *amico della saviezza* (1). Aveva studiato sotto Ferecida discepolo di Pittaco; ma non appare che nè all'uno nè all'altro fosse debitore di alcuna conoscenza di soggetti fisici e matematici. Tornato da' suoi viaggi nell'Egitto e in Oriente ai tempi del secondo Tarquinio, e trovata Samo, sua patria, in mano del tiranno Policrate se ne venne, esiliato volontario, a cercare una sede tranquilla in Italia. A Crotona (come sappiamo da Ovidio) egli studiò ed insegnò quei più sublimi concetti dell'universo materiale, di cui si può soltanto avere un'idea col rigettare i sistemi artifiziali, e coll' interrogare la natura nel suo medesimo regno. Sembra che Pitagora (2) abbia chiaramente compreso ciò che noi chiamiamo per distinzione sistema *solare* del mondo, ed abbia riconosciuto la rotazione diurna non meno che la rivoluzione annua della terra, la posizione centrale del sole, e le rivoluzioni dei pianeti; cui aggiunse una giusta idea della natura delle comete. Tutto questo egli comunicava tuttavia a' suoi discepoli solamente in privato. È pure stato supposto che egli o i suoi successori immediati, insegnassero la probabile esistenza di altri sistemi de' quali le stelle fisse erano i soli. A queste opinioni, in cui noi riconosciamo il vero ordine della natura, i Pitagorici aggiunsero certamente molte cose imaginarie e molte stravaganti

(1) Σοφος, *savio*: φιλο-σοφος, *amico della saviezza*. Dalla prima di queste parole venne il nome di *Sofista*, poscia applicato ai disputanti logici della scuola peripatetica, ed ora comunemente impiegato nel senso di *falso* ragionatore.

(2) Diog. Laert. lib. viii.

specolazioni sulle combinazioni numeriche alle quali attribuivano virtù mistiche; supponevano che queste creassero certe armonie nelle orbite celesti le quali regolassero i moti dell'universo. Giustizia vuole tuttavia che si osservi questi passi degli antichi scrittori, nei quali simili opinioni sono indicate, essere oscurissimi, ed alcune altre essere loro state ascritte le quali non si possono loro giustamente imputare.

Tuttavia allorchè osserviamo che nessun fondamento sostanziale di fatti o di raziocinii fu prodotto in sostegno del loro sistema del mondo, dobbiamo confessare che i Pitagorici, quantunque guidati da qualche principio d'istinto alla verità, non avevano ciò non ostante alcun mezzo reale di distinguerla dall'errore; e che se congetturarono rettamente in un caso, questo non porgeva sicurezza contro l'erroneità di un'altra congettura. La musica delle sfere era per essi appoggiata ad un argomento valido quanto quello su cui si fondava il moto della terra.

Per la stessa ragione non dobbiamo maravigliarci che il sistema Pitagorico fosse poscia negletto e dimenticato. Le false teorie dei Peripatetici erano fondate su raziocinii della medesima specie; e queste avendo avuto il sopravvento continuarono a primeggiare per l'influenza di molte e varie cause.

Tuttavia la scuola Pitagorica continuò lungamente a fiorire e fu illustrata da una serie d'uomini eminenti per la medesima sorta di specolazioni tanto nell'astronomia quanto nelle altre parti della scienza. Filolao, circa l'anno 450 A. C., e Niceta, furono i principali disseminatori della conoscenza del sistema solare, che promulgarono i primi apertamente al mondo.

Tra le specolazioni di questi filosofi si fa menzione

di una o due idee che paiono quasi visioni del sistema di gravitazione. Si dice che Pitagora abbia osservato che una corda musicale dà lo stesso suono di un'altra più lunga del doppio, se questa sarà tesa da un peso quattro volte maggiore di quello che tende la prima; così la gravità di un pianeta è quattro volte quella di un altro che sia posto ad una doppia distanza. Su questo Gregory e Maclaurin hanno fatto lunghi commenti.

Sappiamo da Diogene Laerzio (1) che Anassagora manteneva essere i cieli tenuti al loro luogo dalla rapidità della loro rivoluzione, e che sarebbero caduti se quella rapidità fosse venuta a cessare (*Coelum omne vehementi circuitu constare, alias remissione lapsurum*).

Democrito teneva che gli atomi, per la loro gravità, si sarebbero già da lunga pezza uniti tutti nel centro dell'universo, se l'universo non fosse infinito in modo da non aver centro. Possiamo credere che Lucrezio (2) abbia tolta da lui quest'idea.

Anassagora ed Empedocle pensarono entrambi che la luna splendesse per luce riflessa; giustamente argomentando dalle sue fasi, e riguardando questo come la ragione per cui la sua luce è debole, e priva di un calore sensibile. Alcuni dei più antichi filosofi attribuivano ai raggi lunari una freddezza assoluta; e per chimerica che questa nozione possa a primo tratto apparire, le scoperte moderne hanno mostrata una vera connessione tra il sereno dell'atmosfera (che naturalmente è accompagnato da maggior splendore della luna) e il freddo prodotto dalla radiazione notturna del calore dalla superficie della terra, radiazione impedita dalla presenza delle nuvole.

(1) M. Anax. ii. 12 (2) Lib. i. v. 983.

Supponeva Democrito che le macchie della luna fossero cagionate dalle ombre di ineguaglianze nella superficie; indovinamento singolare di ciò che il telescopio ci ha rivelato. Egli è pure autore di un'altra ardita e sublime specolazione, confermata non meno dal telescopio, — che la via lattea è formata da aggregazioni di stelle minute.

S'ignora affatto in che tempo gli antichi astronomi riconoscessero i cinque pianeti primari. Ma è una prova dell'assiduità delle loro osservazioni che abbiano potuto discernere un pianeta così poco cospicuo qual è Saturno. Per qual mezzo siano giunti a scoprire l'esistenza di Mercurio, è cosa difficilissima in questo momento ad imaginarsi.

Il regolamento del Calendario era un oggetto di molta sollecitudine pegli astronomi greci. Le difficoltà colle quali avevano a lottare nascevano particolarmente dai perseveranti loro tentativi di far concordare i computi ricavati dai movimenti del sole e della luna. Il mese essendo determinato da una rivoluzione lunare e l'anno da quella del sole, presto si accorsero che la prima non era contenuta un numero integrale di volte nella seconda; epperò il loro oggetto fu di trovare un numero o periodo d'anni, al fine dei quali seguirebbe una compensazione, e il principio del mese e dell'anno tornerebbero a coincidere. Le loro cognizioni non permettevano loro di vedere tutte le difficoltà del soggetto. Questa esatta compensazione non può mai accadere, per certe irregolarità di cui non avevano idea; ma non era impossibile di trovare qualche metodo approssimativamente esatto e sufficiente pel loro oggetto; quindi a ciò si rivolse l'attenzione di parecchi dei loro più eminenti filosofi.

A un ciclo imperfetto di otto anni proposto da Cleostrato fu presto sostituito l'accuratissimo di Metone di 19 anni solari, il quale contiene quasi esattamente 235 rivoluzioni lunari, salva la differenza di circa due ore. V'era in esso una si grande semplicità pratica e tanta convenienza, che fu pubblicamente e con grande applauso ricevuto dagli stati della Grecia ai giuochi olimpici. Il primo ciclo cominciò l'anno 432 A. C., ed è quello stesso che è ancora conservato nel nostro calendario sotto il nome di Numero Aureo. Calippo procurò poscia di rendere la concordanza ancora più esatta, ma nel far questo introdusse un errore di un genere opposto.

Eudosso pare essere stato il primo a metter fuori una teoria dei movimenti planetari, diversa dalla Pitagorica, che trasse dall'Egitto. Ella era a un di presso quella che i Peripatetici vennero poscia ad abbracciare. Imaginò che il sole e ciascun pianeta fossero circondati da sfere solide, i cui diversi movimenti si modificassero l'un l'altro in modo da produrre il movimento attuale del corpo; ogni nuova ineguaglianza richiedeva l'introduzione di una novella sfera: e questo rese in breve il sistema infinitamente complicato.

Scienze fisiche

Abbiamo già accennato di alcune delle cause che possono aver contribuito anticamente ad una peculiare coltivazione dell'astronomia. Si direbbe essere un principio nell'umana natura che l'attenzione sia potentissimamente cattivata dalle cose remote, splendide e misteriose, mentre quelle di un carattere ordinario che ci stanno immediatamente sott'occhio, e che parreb-

bero doverci più direttamente arrestare, passano inosservate. Così mentre i primi filosofi stavano osservando le stelle e specolando sui movimenti dei cieli, trascuravano quasi di esaminare i fenomeni che si offerivano sulla superficie della terra; e nelle memorie dell'antica scienza è picciolo lo spazio occupato dalla storia delle scoperte fisiche e meccaniche. Di questa parte del soggetto dobbiamo adesso procedere a dare brevemente un'idea.

Pare che Talete abbia almeno conosciuta la forza attraente del magnetismo; egli osservò pure l'eccitamento dell'elettricità nell'ambra per via di strofinamento; ed attribuì ad entrambi un certo grado di animazione che considerò come la sola sorgente originaria del moto. Supponeva altresì che l'acqua fosse il primo principio dal quale tutte le cose fossero formate e in cui tutte si risolvessero. Fu probabilmente il primo che conobbe il pregio di serie disamine dei fenomeni del mondo naturale; sebbene tanto egli quanto i suoi seguaci si scostarono grandemente dal sentiero di una ragionevole investigazione in molte delle loro specolazioni. L'idea dei quattro elementi nacque nella scuola Ionica (1); e siccome Talete risolveva ogni cosa nell'acqua, così Anassimene tenne l'aria, ed Eraclito il fuoco, qual primo principio di tutte le cose, e fondamento dei loro sistemi.

Troviamo che fra i discepoli di Talete, Anassimandro fece qualche studio della meteorologia, ed ebbe una giusta idea della causa dei venti siccome derivata dalla rarefazione locale dell'atmosfera per via del

(1) Diog. Laert. viii. 31.

calore; ma molte delle altre sue idee erano mere creazioni della fantasia.

Anassagora trasse fuori alcune congetture notevoli nelle quali si scorge un'anticipazione di scoperte moderne. Egli rigettò l'idea dei quattro elementi e ne suppose un numero indefinito. Credè che la materia potesse risolversi in atomi finali, e quest'opinione fu spinta più oltre da Democrito e da Leucippo, i sistemi dei quali, connessi coll'idea Pitagorica della virtù mistica dei numeri, paiono accostarsi alla moderna teoria atomica. E in vero la misteriosa importanza data ai numeri da Pitagora è stata da taluni interpretata come diretta ad insinuare negli iniziati una dottrina strettamente conforme a quella delle combinazioni di tutti gli elementi materiali in definite proporzioni (1).

A Democrito si debbe certamente attribuire il merito di avere fortemente insistito di ricorrere al senso ed all'osservazione, come al vero mezzo di conoscere la natura; ed egli stesso ne ha dato l'esempio facendo un uso più frequente delle indagini sperimentali, come base di tutti i suoi raziocinii, che la maggior parte de' suoi contemporanei. Non rimane tuttavia alcuna delle sue opere. Fiorì verso l'anno 400 A. C. — Alcuni gli attribuirono l'invenzione dell'arco dei vòlti, ma questo è stato molto contestato dagli antiquari. Democrito, come pure Archita ed Eudosso, erano seguaci della scuola Pitagorica; e i due ultimi dei sovra nominati filosofi furono tra i primi che tentarono di diffondere il sapere, e di mettere le verità filosofiche a livello della capacità intellettuale del popolo. Poco sappiamo dell'esito che ebbero nella loro imprêsa, ma questa più

(1) Vedi Daubeny sulla teoria atomica.

umil parte delle scientifiche fatiche è tale che, fra le persone benevole all'umana famiglia, debbe aspettarsi una lode appena inferiore a quella che vien data alle scoperte originali.

Platone in mezzo alle sue mistiche specolazioni offre talvolta qualche idea definita sulle cose fisiche. Per via dell'inerzia della materia egli accenna la distinzione di questa in più o meno densa o rara; e quantunque paia aver avuto qualche idea della gravità, non si scorge come e quanto la connettesse coll'inerzia.

Le fisiche investigazioni di Aristotile (circa il 350 A.C.) presentano una straordinaria mescolanza di opinioni sane e chimeriche. La sua vasta e diligente raccolta di fatti nella storia naturale mostra l'investigatore savio e paziente; la sua meccanica contiene alcuna cosa della reale applicazione del raziocinio matematico, mentre le sue specolazioni fisiche spiegano tutta la stravaganza di teorie gratuite e di un linguaggio dommatico. Egli attribuiva una leggerezza assoluta al fuoco ed un' assoluta gravità alla terra; considerando l'aria e l'acqua come di una natura intermedia. Teneva essere la gravità una tendenza al centro della terra, che riputava il centro dell' universo. Fu pure egli che introdusse il celebre principio dell'abborrimento della natura pel vacuo.

Epicuro (300 A. C.) sembra aver ragionato intorno a molti soggetti particolari della filosofia naturale con giustezza eguale all'assurdità con cui ragionò intorno all'origine del mondo e della natura animata. Seguì in gran parte i principii di Democrito sugli atomi, ma attribuì loro un potere innato di influire sui movimenti vicendevoli, in modo da costituire, con la diversità delle loro spontanee combinazioni, tutte le

varie specie di corpi naturali. Secondo lui, il caldo ed il freddo erano entrambi materiali; non credeva che il calore, che parte dal sole, fosse assolutamente identico con la luce; e congetturò che alcuni dei raggi solari potessero possedere la facoltà di riscaldare i corpi senza produrre effetto sul senso della visione. Spiegò il magnetismo supponendo che una corrente di atomi passi in certe direzioni a traverso la magnete e il ferro, producendo tutti gli effetti per interferenza dell' una coll' altro. I terremuoti e i volcani attribuiva a scoppi violenti di aria imprigionata.

Le forze meccaniche debbono essere state conosciute nelle loro applicazioni pratiche, assai prima che si credesse essere oggetto della filosofia l' investigarne la teoria. La leva ed il conio debbono essersi presentati alla mente del più rozzo operaio. La carrucola e la vite sono da tutti attribuite ad Archita (450 A. C.). Tra parecchie deduzioni erronee la meccanica di Aristotile spiega alcune idee giuste della dottrina delle forze. Certamente egli ha dichiarato, almeno in un modo generale, il principio della composizione del moto. Supponendo due forze, in una data ragione finita l'una all' altra, le quali agiscano su di un corpo nelle direzioni di angoli retti, egli dimostra che, assumendo le intensità delle due forze essere rappresentate dalle lunghezze di linee rette in quelle direzioni, compiendo il rettangolo, la sua diagonale esprimerà la direzione e la quantità del movimento risultante; ma la solidità del raziocinio con cui sostiene questa teoria, può forse dar luogo a contestazione. È pure una circostanza da notarsi, ch' egli procede a considerare il caso in cui le due forze non hanno, com'egli espressamente si spiega, « nessuna relazione » l'una all'altra, e il movi-

mento segue « senza tempo »; nel qual caso conchiude che ne debbe risultare un movimento *curvilineo*. Vedremo in altro luogo come sembri essersi singolarmente avvicinato ad uno dei più astrusi ed importanti principii delle moderne scoperte. Egli mantenne che il movimento è cagionato da qualche cosa in contatto col corpo mosso; e fu quindi indotto a pensare che i corpi cadenti sono accelerati nella caduta dall' aria per cui passano. Distinse i movimenti in naturali e non naturali. Cadere era un movimento naturale, siccome erano i movimenti dei corpi celesti; però questi continuano senza rallentarsi, e quelli sono eziandio accelerati. Ma il movimento che imprimiamo ad un corpo, spignendolo, o gettandolo, è contrario alla natura, e perciò prontamente si rallenta e cessa. Tutta la materia sembra perpetuamente pronta a liberarsi da questi movimenti non naturali ed a riprendere uno stato di riposo conforme alla sua natura. I suoi seguaci riguardavano questi movimenti contro natura come qualità acquistate, simili al caldo e al freddo, e nello stesso modo soggette ad essere perdute. Fra i suoi discepoli non è da ommettersi il nome di quel diligente investigatore della storia naturale, Teofrasto, che fioriva circa l'anno 320 A. C.

Si ha ragione di credere che nei primi tempi dell'antica scienza poco si sapesse della natura e delle proprietà della luce. V' ha, a dir vero, alcuni fenomeni così ovvii, che anche nelle più rozze età hanno dovuto essere osservati. La reflessione della luce dalle superficie lisce debbe essere stata una delle prime apparenze naturali cui si sia fatto giornalmente attenzione. Ogni fiume ed ogni fonte offeriva uno specchio; e questo effetto fu senza dubbio assai per tempo imitato per mezzo di superficie metalliche forbite.

Il corso rettilineo della propagazione della luce non potè a meno di essere tosto osservato; e questa circostanza ha dovuto porne immediatamente le leggi sotto l'ispezione del geometra. L'eguaglianza degli angoli d'incidenza e di reflessione fu conosciuta fin dai primi tempi. Il fenomeno della refrazione non fu investigato se non in tempi più recenti. Che una verga diritta parzialmente immersa nell'acqua appare curvata, e che il raggio refratto in un mezzo più denso è inflesso verso la perpendicolare alla superficie, era a un di presso tutto ciò che per molti secoli si conobbe in questa materia. Empedocle (circa 450 anni A. C.) fu il primo a trattare l'ottica sistematicamente. Egli portava opinione che la luce consistesse in particelle lanciate dai corpi luminosi, e che tuttavia la visione non si operasse senza l'aiuto di una certa influenza, od emanazione, trasmessa dall'occhio verso l'oggetto.

Epicuro manteneva, che gli oggetti sono veduti per mezzo di certi spettri o simulacri, che partono dalle superficie dei corpi e sono ricevuti nell'occhio.

Specolando su questa materia sotto un aspetto metafisico, Aristotile dubitò di questa dottrina di Empedocle e sostenne che la luce non è sostanza materiale, appoggiandosi ad argomenti tratti dalla sua velocità che suppose essere infinita. Pare che egli la riguardasse come un non so quale impulso propagato per via di un mezzo; ma tutta la sua dottrina era così mescolata ad un misticismo di parole, che è difficile il determinare se quest'idea fosse veramente una specie di anticipazione congetturale della teoria delle ondulazioni.

Scienze matematiche

Nello scorrere che abbiamo fatto delle prime scoperte fisiche ed astronomiche degli antichi, abbiamo appena trovato qualche caso di sana investigazione, senza che fosse mista ad ipotesi gratuite e stravaganti. Nel rivolgerci tuttavia alle loro invenzioni nelle matematiche pure, troviamo un piacevole contrasto. In questa parte riconosciamo lo sviluppo sicuro, benchè assai graduale, delle più importanti verità elementari, stabilite con una perfezione di accuratezza logica nel raziocinio, tale da essere anche oggidì un soggetto d'approvazione generale ed un modello degno di universale imitazione. E se le oscure proprietà mistiche attribuite ai numeri da Pitagora non saranno riguardate come un'eccezione, non troviamo mai che queste investigazioni siano degradate per una mescolanza d'idee frivole o di visionarie specolazioni.

Abbiamo già veduto che quelle verità elementari, le quali formano necessariamente la base di tutta la scienza della quantità in tutte le sue specie e dimensioni, furono pretese di loro invenzione da parecchie nazioni antiche; ed è assai probabile che la loro scoperta seguisse presso popoli diversi senza alcuna loro comunicazione. Esse ci furono tramandate come specolazioni dei primi tempi; e siffatte relazioni primarie e semplici sono nel numero di quei primi soggetti che hanno naturalmente dovuto esercitare l'ingegno di una mente contemplativa che si consacra alla considerazione delle diverse combinazioni cui le figure e le grandezze geometriche possono essere soggette. Senza dubbio ci volle poi assai tempo prima che coteste disperse verità fossero raccolte e disposte in una forma sistematica.

Pitagora ha certamente rivolto la sua attenzione a questi soggetti; e la storia che si narra del suo sagrificare un'ecatombe in testimonianza di gioia per avere scoperto il teorema fondamentale della geometria, non sarebbe stata inventata se non avesse goduto della riputazione di essere l'autore originale della scoperta.

I più antichi filosofi greci si occupavano a specolare su tutte le relazioni che potevano scoprire nelle semplici figure geometriche, ed in quelle costruzioni che richiedevano soltanto l'uso della linea retta e del circolo: gradatamente estesero le loro indagini alla proprietà dei piani e dei solidi, specialmente dei solidi regolari contenuti fra lati piani, e di quelli generati dalle rivoluzioni di un circolo, di un triangolo o di un rettangolo, cioè la sfera, il cono ed il cilindro.

Alla scuola Platonica, e siccome taluni affermano, a Platone medesimo, siamo debitori di alcune delle più pregevoli addizioni alla geometria. La scienza non si era ancora occupata di altra curva che del circolo. Platone s'accorse che se un cono viene tagliato da un piano in certe posizioni, l'intersezione della superficie del cono col piano non sarà nè una porzione di circolo, nè rettilinea, ma prenderà la forma di certe curve particolari. Presto si venne a trovare che tre sole distinte specie di queste curve si potevano formare; esse furono conseguentemente chiamate sezioni coniche, e presero nome (secondo un'altra analogia nascente da una delle loro proprietà) di parabola, ellisse ed iperbola. La maniera in cui primamente si concepì la formazione delle curve, è un esempio manifesto del lento progresso delle scoperte in una classe di verità ancora nuove all'intelletto. Si concepì che un piano toccasse un cono lungo uno de' suoi lati; un altro piano perpen-

dicolare a questo tagliò il cono e diede origine alla curva. Se il cono formava un angolo retto alla sua sommità, la curva era una parabola; se l'angolo verticale era minore di un angolo retto, ne nasceva un'ellisse; se maggiore, un'iperbola. Così si suppose necessaria una diversa specie di cono per produrre ciascuna curva diversa. Un secolo scorse prima che si vedesse potersi queste ottenere da un medesimo cono di qualunque specie, alterando semplicemente l'inclinazione del piano secante. Questo non è il luogo di parlare dell'alta importanza di queste curve nelle ricerche della scienza fisica moderna. Qui ci dobbiamo ristringere ad accennare che fortunatamente gli antichi seppero debitamente apprezzarle e continuarono con incessante diligenza ad investigare le loro varie proprietà. Nessuno fu più eminente in queste ricerche che Menecmo, amico e discepolo di Platone.

Ma la scuola Platonica fu egualmente illustrata dall'aver dato origine ad altre parti importanti di speculazione matematica. Fra queste la più notevole forse fu l'analisi geometrica, invenzione che Proclo attribuisce a Platone medesimo. Qualunque questione geometrica, sia problema o teorema, essendo sottoposta all'analisi, viene riguardata come sciolta, o come vera. Da questa supposizione si tragge una serie di conseguenze, la quale dall'ingegno del geometra è continuata finchè non giunge a qualche proposizione che si conosca essere vera o falsa, possibile od impossibile. La conseguenza finale mostra se la questione è vera o possibile; e col ricalcare le medesime orme si può trovare una prova o una soluzione sintetica.

I luoghi geometrici furono un'altra classe di specolazioni cominciate e proseguite in questa scuola. Questi,

nella loro più semplice forma, nacquero da problemi nei quali si ricercava di trovare un punto determinato, per esempio, coll'intersezione di due linee sotto certe condizioni date, e in cui si trovava esservi un numero infinito di punti che riempievano le condizioni richieste, ma ciascuno ristretto ad una certa posizione; di modo che se tutti fossero stati determinati, sarebbero venuti a trovarsi tutti in una certa linea o luogo retto o curvo. Per esempio, il luogo delle sommità dei triangoli di area eguale sulla medesima base è una linea retta paralella alla base; e il luogo delle sommità di triangoli rettangoli sulla stessa ipotenusa, è un semicircolo. Questi luoghi erano principalmente impiegati a somministrare i mezzi di sciogliere altri problemi del genere determinato.

Nel numero di questi ve n'ebbe uno che grandemente occupò l'attenzione degli antichi geometri, e fu sciolto nella scuola Platonica. L'oracolo di Delfo richiedeva che dell'altare di quel tempio, che era un cubo perfetto, si facesse un doppio in forma pure di cubo che contenesse esattamente due volte tanto di materia solida. Il problema fu primamente sciolto meccanicamente; ma Menecmo applicò alla soluzione i mezzi somministrati dal metodo dei luoghi, e produsse una costruzione geometrica. La trisezione di un arco circolare era un altro problema di qualche celebrità, che cedè parimente alle crescenti forze della geometria, quantunque avesse resistito ad ogni tentativo fatto per mezzo dei metodi elementari.

Avremo occasione in avvenire di ricorrere ai principii sviluppati in queste varie scoperte. Qui osserveremo soltanto, che fuor di dubbio esse contengono in certo modo i germi delle più pregevoli invenzioni dei tempi moderni.

In generale, la geometria delle scuole antiche è quella parte delle loro speculazioni su cui rivolgiamo lo sguardo col maggior interesse e con la maggior soddisfazione, e cui andiamo veramente debitori per lo sgombramento di quelle difficoltà colle quali avremmo altrimenti dovuto lottare *in limine* in tutte le nostre investigazioni. Ciò che era per essi materia di alte ed originali scoperte, forma adesso gli elementi necessarî di ogni ben diretta educazione: ma quand'anche la moderna scienza ci avesse dato metodi più diretti e più facili per giungere a quei risultamenti che si richieggono per la loro attuale applicazione, tuttavia, come soggetto di studio astratto, per la raffinata eleganza delle loro deduzioni, per la squisita esattezza del loro stile, e per la minuta precisione del loro raziocinio, gli antichi geometri saranno sempre modelli impareggiabili alle età venture.

L'invenzione di modi meccanici di costruzione con cui certe curve potevano essere delineate, ed alcuni problemi essere sciolti, modi che cominciavano a prevalere ai tempi di Eudosso, di Archita e dei loro seguaci, fu molto censurata da Platone, il quale stimò che simili metodi scemassero l'astratta dignità filosofica della geometria e distruggessero il suo carattere puramente intellettuale. Questo sentimento, perfettamente giusto sino ad un certo grado, fu largamente abbracciato dai filosofi della scuola Platonica, ed ebbe l'effetto di separare l'invenzione meccanica dalla specolazione matematica: risultamento dannosissimo alla prima, e impeditivo dello sviluppo dello spirito d'invenzione e di miglioramento nella seconda. Per verità, egli è probabilmente alla gran distinzione mantenuta nelle idee di molti degli antichi filosofi fra i rispettivi caratteri

della geometrica e della fisica investigazione, che si vuole attribuire in gran parte la trascuranza di questa, e la lentezza de' suoi progressi, per difetto non solo del potente aiuto che avrebbe potuto ricevere dall'altra, ma eziandio per non essere stata riconosciuta come un ramo legittimo della filosofia. Nulla in fatto è più sorprendente del contrasto che presenta la maniera in cui queste due classi d'investigazione erano separatamente proseguite: e appena possiamo frenare la maraviglia nel vedere che lo stesso genio filosofico, il quale era così rigorosamente preciso nel ricercare una perfetta dimostrazione delle nozioni più elementari sulle quali la verità matematica doveva riposare, fosse poi pronto ad appagarsi delle più leggere congetture o delle più deboli analogie nelle cose spettanti a fisiche specolazioni.

SEZIONE II

Progresso della scienza dallo stabilimento della scuola di Alessandria sino alla sua decadenza.

Scuola di Alessandria

Siamo ora giunti ad un'epoca memorabile nella storia della scienza. Allorchè alla morte di Alessandro, l'impero di lui fu diviso fra i suoi capitani, l'Egitto toccò in sorte a Tolomeo Lago, principe il cui amore della scienza e la cui inclinazione ad incoraggiarla presto attrassero alla sua capitale, Alessandria, molti uomini dotti dalla Grecia e da altre contrade. Suo figliuolo Tolomeo Filadelfo fu erede delle qualità come del trono del padre; e in breve dimostrò il suo zelo a compiere ciò che il suo predecessore aveva incominciato. Lo

stesso spirito animò parecchi de'suoi successori al trono. Ma il secondo Tolomeo diede la prova più convincente del suo ardore nella causa del progresso, con la magnifica fondazione delle scuole di scienza, dell'osservatorio e della biblioteca che ornarono la sua capitale e diedero alla sua sovranità una preminenza nel suo migliore attributo, — quello cioè di promuovere il bene della specie umana. La protezione con tanta munificenza compartita fu ampiamente rimunerata negli effetti che produsse. Una serie di filosofi della più rara dottrina continuò lungamente ad illustrare quella scuola reale; e lo stimolo e l'incoraggiamento dato così alle investigazioni astratte produssero alcune delle più pregevoli addizioni alle cognizioni filosofiche, e gettarono profondi e durevoli fondamenti alla scienza astronomica, meccanica e geometrica. Soprattutto si eccitò uno spirito di ricerche; e la mente umana imparò e fu animata ad adoperare le sue facoltà nella investigazione del vero.

Geometria: — Euclide

In nessuna parte della scienza noi abbiamo maggiori obbligazioni alla scuola di Alessandria che nelle matematiche pure. Uno dei principali di quegli uomini illustri, che fecero tanto onore alla saggia liberalità del suo fondatore, fu Euclide; più d'ogni altro conosciuto in ogni parte del globo ed in ogni secolo, dal suo sino al presente, pel suo sistema di geometria elementare. Noi possediamo poche notizie della sua vita, e presumiamo che il periodo in cui fiorì, fosse quello che immediatamente succedette alla fondazione della scuola d'Alessandria fra gli anni 300 e 250 A. C. Ciò che sappiamo intorno a lui è principalmente ricavato dal

comento di Proclo sui suoi Elementi. Non v'ha dubbio che prima di lui Ippocrate, Eudosso ed altri avevano compilato elementi di geometria. Sembra che sia stato principale disegno di Euclide di correggere i loro errori, supplire ai loro difetti, ed unire la serie delle verità elementari in una concatenazione perfettamente sistematica di deduzione. L'estrema precisione logica che spiega nello stile di dimostrazione, non ha eguale se non nella mirabile chiarezza e semplicità che, tranne pochissime eccezioni, caratterizzano ogni parte dell'opera. Ma pochi trattati hanno probabilmente, nello scorrere dei secoli, sofferto più di questo per parte non solamente di semplici copisti, ma di comentatori e di pretesi ristauratori. Quindi fu costante oggetto di moderni editori di ridurre il testo al suo probabile carattere originale. Fra questi tentativi niuno è stato più cospicuo o più generalmente riguardato come felice, di quello del dottore R. Simson. Pare tuttavia che alcuna cosa gli manchi ancora per la sua compiuta perfezione. Un tal po' di misticismo infetta alcune delle definizioni e degli assiomi; e il difetto primario nella teoria delle linee paralelle vi rimane tuttora. E sebbene vari rimedi siano stati proposti, nessuno ha ancora riunito le condizioni di semplicità e di conformità allo stile elementare, quand'anche fosse stimato conchiudente.

Certamente non è picciola lode che non ostante questi difetti, le molte obbiezioni che gli furono fatte, e i tentativi con cui si procurò di migliorarlo, il trattato di Euclide mantenga ancora la sua alta riputazione. La sua scelta ad uso dell'istruzione elementare è una quistione diversa. In Inghilterra esso è ancora generalmente adoperato; ma sul continente altre opere più specialmente intese all'iniziazione dello studente, gli furono

sostituite. Ciò è tuttavia indipendente affatto dal suo merito come sistema filosofico; e sotto questo aspetto noi siamo inclinati a credere che l'eccellenza sua non è ancora pienamente apprezzata. L'opera intera è stata ordinariamente pubblicata in quindici libri; ma i due ultimi per comune consenso non sono di Euclide; il traduttore arabo apertamente gli attribuisce ad Ipsicle. Sembra probabile che l'opera da noi posseduta sia una combinazione di due o forse tre trattati, originariamente distinti, poichè oltre alla geometria questi libri inchiudono la teoria dell'aritmetica e la sua applicazione alla geometria.

L'investigazione dei principii filosofici del ragionare seguiti da Euclide nelle varie parti de' suoi scritti è soggetto di gran rilevanza, il quale merita più attenzione che non vi si sia fatta per l'addietro, sì per ciò che ha tratto ad una giusta estimazione della sua eccellenza, come per le questioni insorte ne' tempi moderni intorno alla rivalità della geometria e dell' algebra.

Ma non possiamo fermarci a questioni di questo genere. Intanto sarà più consentaneo al nostro soggetto l'osservare che i limiti di ciò che fu per distinzione riguardato come metodo *elementare* furono toccati da Euclide nella sua dimostrazione della proporzionalità delle aree dei circoli ai quadrati, e dei volumi delle sfere ai cubi, dei loro diametri. Il problema della quadratura del circolo, ovvero l'assegnare con metodi geometrici il lato di un quadrato la cui area sia eguale a quella di un dato circolo, era cosa assai celebrata fra gli antichi, e fu indirettamente di gran vantaggio alla scienza, poichè nel continuo ed inutile tentativo di trovarne la soluzione, si scopersero metodi e principii i quali furono di un uso importantissimo.

Per procedere tuttavia in modo soddisfacente nella nostra narrazione di queste e di altre ulteriori investigazioni, dobbiamo premettere alcune considerazioni più generali.

Il vero oggetto di contemplazione in geometria è l'*estensione* nelle varie sue specie di lunghezza, superficie e solidità. La prima cosa da farsi da un geometra è di considerare le diverse combinazioni delle concezioni più semplici che producono le varie specie di figure aventi un'estensione; queste saranno linee rette o curve, e gli spazi inchiusi fra quelle. La superficie poi può esser tale da trovarsi tutta in un piano, o può essere variamente curva o ritondata: e sotto tali superficie si possono contenere solidi di varie forme. Il geometra dunque distingue tutti quei casi che può ridurre a qualche sorta di regolarità nella loro struttura o nel loro modo di formazione. Ogniqualvolta un simile principio di formazione è stato riconosciuto, egli può procedere alle conseguenze che risulteranno dal supposto metodo di costruzione, e così stabilire le proprietà appartenenti a tali figure. Si badi che tutto questo si applica a figure, linee e grandezze, quali sono le pure creazioni di una concezione intellettuale, e intieramente astratte da ogni grossolana idea fisica derivata dalle nostre nozioni di sostanze materiali. La linea del geometra è l'idea astratta della *lunghezza* di un oggetto, fatta astrazione di ogni relazione alla sua larghezza, spessezza o qualunque altra proprietà; e lo stesso s'intenda delle idee di superficie, solidità, ecc. Nello stesso modo le deduzioni che tira e il metodo che segue per riconoscere le loro dimensioni e stabilire le loro proprietà, non sono simili a quelli di un attuale misuramento meccanico,

o di una computazione numerica, ma sono conclusioni astratte e rigorosamente logiche tratte dalle prime definizioni e dalle supposizioni assunte. Egli è in questo modo che si mostra la gran superiorità della geometria come scuola di raziocinio rigoroso; e se si riguarderà solamente come uno scelto e bel campo di specolazione filosofica, essa potrà giustificare tutti gli elogi che ne furono fatti.

Uno dei principali punti d'investigazione nella geometria elementare è quello che si riferisce al paragone delle aree delle figure piane: il che non presenta gran difficoltà finchè le figure sono contenute fra lati rettilinei. I triangoli essendo le più semplici delle figure rettilinee, il paragone delle loro aree fu il primo passo; e l'idea di eguaglianza d'area viene finalmente a ridursi a quella di due figure che, soprapposte, coincideranno in ogni parte. Da questo principio elementare, per mezzo di varie concatenate deduzioni, Euclide ha segnato la via al paragone delle aree di figure rettilinee (le quali possono considerarsi come composte di triangoli), e stabilì le condizioni alle quali simili figure diversamente costrutte possono dimostrarsi essere eguali. Egli ha introdotto nella sua catena di deduzione, come punto d'importanza fondamentale, ed ha stabilito con un bellissimo saggio di prova geometrica, il teorema di cui abbiamo già parlato come invenzione di Pitagora; che i quadrati dei cateti di ogni triangolo rettangolo sono, presi insieme, eguali in area al quadrato della sua ipotenusa, e la medesima verità è estesa a tutte le figure simili. Il principio di soprapponimento si trova in tutta questa esattissima deduzione, e lo studente può divertirsi colla dissecazione meccanica e colla ricostruzione delle parti di

queste aree, le quali con un'operazione facilissima si troveranno coprire lo stesso spazio. Speculazioni di questo genere furono in un tempo più recente coltivate assai dai matematici persiani. — Prima di abbandonare questo soggetto, indicheremo l'applicazione numerica della medesima verità: se i lati di un triangolo rettangolo saranno rispettivamente della lunghezza di 3, 4 e 5 oncie o piedi, ecc., sarà immediatamente ovvio che la sovraccennata verità verrà pure a riconoscersi nei loro quadrati numerici. Lo stesso sarà pure necessariamente vero di qualunque dato multiplo di quei numeri; ma si possono trovare altri numeri che abbiano la medesima proprietà; — per esempio: 9, 12 e 15, o 6, 8 e 10. Si dice che Platone abbia trovata una regola generale per cui una tale relazione in numeri interi può essere espressa. Sia N un numero qualunque, i tre lati saranno rispettivamente due volte N, il quadrato di N diminuito dell'unità, e il quadrato di N cresciuto dell'unità. Se formiamo un triangolo i cui lati siano misurati da questi numeri, vedremo a un tratto che è rettangolo: questo principio è praticamente applicato dagli operai nel trar linee che debbano essere ad angoli retti; come per esempio nel fondare un edifizio.

Questa è tuttavia una digressione. — Il paragone di aree rettilinee è cosa agevole: ma lo stesso non avviene quando vogliamo paragonare uno spazio rettilineo con uno che sia curvilineo, o esprimere il secondo per mezzo del primo; che è il solo modo in cui possiamo esprimerlo in termini definiti, perchè sia soggetto di calcolo.

Ippocrate fece questo in un caso semplicissimo. Estendendo il teorema fondamentale di cui abbiamo

parlato, egli dimostrò che i semicircoli descritti sui cateti sono, presi insieme, eguali in area al semicircolo descritto sull'ipotenusa di un triangolo rettangolo. Ma quest'ultimo semicircolo (per un'altra sua proprietà) passerà sempre pel vertice dell'angolo retto, e ciò facendo taglia via dagli altri due certe porzioni che per la loro figura sono dette *lunule.* Deducendo adunque gli spazi comuni ai semicircoli, ne segue che queste *due lunule* sono insieme eguali all'area del *triangolo*. Questa leggiadrissima investigazione non ha tuttavia alcun'ulteriore applicazione, nè conduce menomamente ad un principio di ricerche simili per altri casi.

I metodi strettamente chiamati di geometria *elementare* possono forse essere caratterizzati dall'applicazione in qualche deduzione (quantunque remota) del principio di esatto *sopraponimento*. Questo principio, adunque, in qualunque delle sue forme, è inadeguato all'ufficio di assegnare generalmente le aree delle figure curvilinee; e la scienza richiede di essere qui rinforzata da qualche mezzo più potente. Questo fu trovato in ciò che si chiama il metodo di *esaustione*, e nel principio generale dei *limiti*. Questi metodi sono veramente di un'applicazione assai più estesa, come vedremo in altra parte delle nostre indagini; basti adesso l'osservare che con la parola *esaustione* s'intende quella sorta di processo nella dimostrazione, col quale si fa vedere che abbiamo considerato *ogni* caso imaginabile che il soggetto particolare di cui si tratta può ammettere; ed avendo dimostrato che il punto da stabilirsi *non* è incluso in alcuno di essi, tranne un solo, ne deduciamo che si debba trovare in quello. Necessariamente questo presuppone che debba trovarsi

in alcuno di essi, ovvero che abbiamo precedentemente stabilita la verità dell'*alternativa*. Per esempio, se sarà dimostrato che una cosa non può essere nè maggiore, nè minore di un'altra, ne verrà per conseguenza che le sarà eguale. Questo sarebbe un caso semplice del metodo di *esaustione*. Esso è senza dubbio un modo indiretto di provare, analogo alla *reductio ad absurdum*, così frequentemente adoperata in geometria; ma non è ammessibile dove si può ottenere una prova diretta. Il punto principale consiste ordinariamente, come abbiamo detto, nello stabilire l'*alternativa*, nell'assicurarci che la relazione cercata debba realmente esistere in alcuno dei casi possibili. Ora questa parte dell'operazione è precisamente quella di stabilire ciò che è chiamato *limite*. Nessun termine nella scienza fu forse travisato da tanti raffinamenti tecnici quanto questo; e tuttavia non v'è forse concezione più semplice quando è espressa con semplicità. Noi stimiamo di non poterlo illustrar meglio se non ricorrendo al medesimo caso considerato dagli antichi matematici.

Quando un poligono regolare (per esempio un esagono) è inscritto in un circolo, ognuno vede che occupa un'area minore, ed è contenuto in un minor perimetro che non il circolo. Se ora lo convertiamo in una figura di dodici lati, esso si avvicinerà maggiormente al circolo per tutti e due i riguardi; e sarà maggiore ancora l'avvicinamento se raddoppieremo nuovamente il numero dei lati. In questo modo possiamo procedere finchè supponiamo un poligono di un numero di lati grande quanto l'imaginazione può concepire. Sarà esso ancora minore di un circolo; e non potrà mai divenire eguale al circolo senza diventare un circolo anch'esso, cessando di essere un poligono retti-

lineo. Il circolo adunque è il *limite* cui il poligono non può giungere, benchè si continui ad accrescere il numero de'suoi lati, e a diminuire le loro lunghezze individuali. Nella stessa maniera, se prendiamo il caso di poligoni *circoscritti*, il circolo sarà parimente il loro *limite*. L'area di questo è un limite all'area di quelli, e la sua circonferenza il limite dei loro perimetri.

Euclide avendo dimostrato con metodi elementari che le aree di tutte le figure rettilinee simili sono come i quadrati delle loro diagonali, estese questa verità al caso dei poligoni inscritti e circoscritti, di qualunque numero di lati; e quindi, per lo stesso principio, alle aree curvilinee dei circoli che sono i loro limiti, poichè le loro diagonali sono i diametri dei circoli. L'operazione di verificare il limite, o di dimostrare in ciaschedun caso che l'area curvilinea è realmente il confine, era quella che venendo seguita in tutti i suoi particolari, cagionava la difficoltà principale di questo metodo, per la lunghezza e il tedio eccessivo che il più delle volte l'accompagnavano.

Geometria: — Archimede

Questi metodi, di cui abbiamo cercato di dilucidare la citando natura, un semplice esempio del loro uso, presto vennero assai più estesamente applicati. Nel primo periodo della scuola Alessandrina si vede uno dei più potenti intelletti che il mondo abbia mai prodotti, spargere una nuova e vivida luce su quasi tutto il campo della verità fisica e matematica. — Archimede era nato a Siracusa circa l'anno 287 A. C. Egli pose il fondamento del suo sapere geometrico nella scuola

di Euclide, e in breve ottenne una gran riputazione in questa scienza. Tornato in patria, quella città divenne l'asilo de' suoi studi e poscia il teatro de' suoi trionfi pratici nella meccanica. Fra i vari soggetti cui applicò le sue gigantesche facoltà d'investigazione, le questioni della geometria erano delle prime, particolarmente quelle per la cui soluzione l'invenzione del principio dei limiti avea preparata la strada. La sua attenzione fu facilmente cattivata dalla bellezza e dalla fecondità del metodo di esaustione, ed egli se ne valse nell'investigazione di vari nuovi soggetti, e nella soluzione di problemi non ancora tentata. Procureremo brevemente di spiegarne alcuni; e nel far questo troveremo che il principio ne viene ulteriormente dilucidato. Per aride ed astratte che sembrino essere le specolazioni cui è qui applicato, egli è tuttavia per l'estensione del medesimo principio che nei tempi moderni si è stabilito l'impero della mente umana sulla materia, — che siamo giunti a vedere più profondamente nel sistema dell'universo, — e per conseguenza che l'uomo si è innalzato tant'alto fra gli esseri intellettuali.

Rivolgendo la sua attenzione alle molte proprietà ed analogie singolari di quelle notevoli curve di cui si è già parlato, e che sono formate dalle sezioni di un cono, Archimede vide una bella applicazione del metodo di esaustione a stabilire l'area di qualunque porzione di una parabola. Questo tuttavia involveva una nuova specie di limite, vale a dire la medesima nozione di una sorta di confine applicato alla quantità numerica. Un tal limite può essere assegnato all'addizione continua di una serie di numeri in progressione geometrica, quando il moltiplicatore comune è una frazione. E

facilissimo il vedere che se prendiamo per esempio una serie geometrica, 1, 1/4, 1/16, ecc., in cui il moltiplicatore comune è 1/4, la serie procederà indefinitamente: ma se prenderemo la somma di qualunque numero di termini, troveremo che ogni nuovo termine aggiunto aggiungerà sempre meno al suo ammontare; e v' ha un *limite*, oltre il quale nessuna continuazione del processo ci potrà portare, ma cui potremo avvicinarci quanto ne piacerà, e questo limite sarà il numero 4/3.

Ora se un triangolo sarà inscritto nella parabola; e se in ciascuno dei segmenti curvilinei che sopravanzano s'inscriveranno nello stesso modo altri piccioli triangoli; e nei rimanenti segmenti nuovi triangoli, e così via via; si potrà dimostrare, per le note proprietà della curva, che le aree del triangolo originale, e di ciascuna delle serie di piccioli triangoli a questo modo formati in ogni operazione successiva, costituiranno una serie in progressione geometrica, 1, 1/4, 1/16, ecc. Adunque il limite della somma, vale a dire di tutta l'area rettilinea, è 4/3 del triangolo originario. Ma è pure dimostrato che l'area curvilinea della parabola è il limite della somma di tutti i triangoli inscritti; quindi l'area curvilinea è esattamente e rigorosamente eguale a 4/3 del triangolo inscritto, ovvero, come naturalmente ne conseguita, 2/3 del rettangolo circoscritto.

Per mezzo di metodi simili a questo il medesimo illustre geometra passò ad investigare un gran numero di altre proprietà e relazioni di figure geometriche. Forse una delle più celebrate è la sua dimostrazione della relazione singolare che esiste fra le superficie e i volumi della sfera inscritta in un cono equilatero, e del cilindro descritto intorno alla sfera. Tanto le superficie

quanto i volumi formano progressioni geometriche, e con lo stesso rapporto comune, 2/3. Questa scoperta talmente lo sorprese, che ordinò fosse scolpita sulla sua tomba.

Coll'applicazione ulteriore di questi metodi ei s'inoltrò tanto nella questione dell'area circolare, da dimostrare che se s'imagini la circonferenza di un circolo stesa in una linea retta, l'area ne sarà eguale ad un triangolo rettangolo, di cui base sia il raggio e altezza la circonferenza: essa sarebbe adunque espressa prendendo metà del rettangolo prodotto dal raggio per la circonferenza. La quadratura del circolo è pertanto ridotta a trovare la lunghezza della sua circonferenza in misura rettilinea. Per mezzo di un esteso paragone di poligoni, provò che la ragione della circonferenza al diametro debb'essere minore di 3 10/70 a 1, e maggiore di 3 10/71 a 1.

Conone, amico di Archimede, suggerì l'idea che questi sviluppò, della spirale che ancora porta il suo nome. Un punto supposto muoversi uniformemente verso il centro di un circolo lungo il suo raggio, mentre il raggio stesso gira uniformemente, descrive nel suo corso con questi movimenti combinati la spirale di cui si tratta. Ma sarebbe vano l'andare enumerando i diversi soggetti matematici che occuparono l'attenzione e spiegarono il vasto ingegno di questo celebre filosofo. Ciò che abbiamo detto basterà ad illustrare la natura e il carattere generale delle sue ricerche e ci preparerà a comprendere più agevolmente, in una parte più inoltrata di questo saggio, quanto egli abbia spianata la strada alle più estese scoperte de'suoi moderni successori.

Scienza meccanica

Abbiamo già osservato che i filosofi greci poco sapevano della scienza del moto: quelle specolazioni cui si diedero intorno a questo soggetto, furono di una natura interamente astratta e così miste a nozioni metafisiche, che ne nacquero o potevano nascerne pochissime deduzioni reali applicabili ad alcun oggetto nella natura. Eravi tuttavia un altro ramo di questa scienza in cui le loro fatiche ebbero un miglior successo, e che cominciò ad essere coltivato da Archimede. Questa era la scienza della meccanica in ciò che si riferisce all'azione di forze in equilibrio, e producenti non moto, ma riposo; cioè la dottrina della *statica*, siccome venne a chiamarsi ne'tempi moderni, per distinguerla dalla *dinamica* che tratta dei corpi in movimento. Questo soggetto poteva essere, e, come vedremo, fu chiaramente compreso, quantunque le leggi del moto fossero ancora sconosciute. La dottrina dell' equilibrio fu trattata da Archimede in un modo che eminentemente dimostra quella somma maestria che, per comune consenso, lo fa stimare il primo di tutti i filosofi matematici dell' antichità. Egli la stabilisce su principii così chiari e soddisfacenti che, anche a' dì nostri, appena si potè aggiungere alcuna cosa alle prove ed alla semplicità del raziocinio su cui l'ha appoggiata. Il suo punto fondamentale è la proprietà della leva; e la dimostrazione ne è fatta sostanzialmente dipendere dalla verità che corpi eguali, in capo a bracci eguali di una verga sostenuta nel suo punto di mezzo, si equilibreranno l'un l'altro; ovvero, ciò che è quasi la stessa cosa, che un cilindro regolare omogeneo si equilibrerà sul punto di

mezzo della sua lunghezza. Questi principii, in qualunque modo li consideriamo, possono essere riguardati come non ammettenti una prova ulteriore. Procedendo adunque su di questi come indubitabili, se non di per sè evidenti, egli prosegue la sua prova con molta sagacità sino alla conclusione, che i corpi saranno in equilibrio allorchè le loro distanze dal *fulcro* o punto di sostegno sono in ragione inversa del loro peso. Da questo progredisce al soggetto affine del centro di gravità, stabilisce parecchie proposizioni a ciò relative, e ne trova la posizione in molti corpi di varie forme. Non sarebbe compatibile coi nostri limiti l'entrare in altri particolari di questa investigazione; e sarebbe superfluo il far altro che alludere all'applicazione pratica di scienza meccanica che mostrò nelle rinomate macchine costrutte per la difesa di Siracusa. Gli specchi coi quali si dice che abbia incendiata la flotta romana hanno dato luogo a molte discussioni. La possibilità di costruire specchi così potenti, specialmente con la combinazione di specchietti piani che formino una superficie di molte facce, avvicinantesi ad una forma curva e concava, è stata dimostrata da Buffon. La distanza alla quale si poteva produrre l'effetto, nelle circostanze del caso, è la parte della questione più soggetta a controversia, non avendosi dato certo della distanza cui le navi erano poste e della loro sufficiente permanenza nel medesimo sito. Il filosofo può aver prodotto un effetto in un caso e sotto una favorevole riunione di circostanze, che abbia bastantemente spaventato il nemico e impedito che si avvicinasse di nuovo.

Sebbene non ci resti memoria di alcuna fatica di Archimede nel vero campo delle osservazioni astronomiche, non v'ha tuttavia dubbio ch'egli rivolgesse la

sua attenzione a questo soggetto. Si dice che abbia costrutto una specie di planetario; e che abbracciando le idee di Aristarco sul sistema del mondo, prendesse la distanza dal sole, quale era stimata da quell'astronomo, per base di un calcolo del numero di granelli di arena che si conterrebbero in tutta la sfera dell'orbita della terra. Il trattato in cui si fa questa investigazione è da questa circostanza chiamato « De Arenario »; ed era inteso a dimostrare il potere dell'aritmetica e l'utilità di un sistema decimale di notazione.

La scoperta originale delle leggi principali dell'idrostatica è dovuta al vasto genio di Archimede. Quantunque alcuni fatti staccati saranno probabilmente stati osservati da Aristotile e da' suoi predecessori, certamente nessun esame generale od accurato di questo soggetto era stato fatto prima dei tempi del filosofo di Siracusa. Egli fu senza dubbio quegli che stabilì la regola generale che un corpo solido, quando è immerso in un liquido, perde una porzione del suo peso eguale a quella del liquido che rimuove dal suo luogo. Nel « Discorso preliminare sullo studio della filosofia naturale » è stato osservato come questo presenti un esempio singolare della forza del pregiudizio, nella circostanza che altri non si è accorto che il peso perduto è soltanto l'effetto della pressione del liquido all'insù; e nell'aderire al domma che « i liquidi non gravitano nel loro luogo naturale ». Tuttavia se Archimede fu impedito dal trarre un partito conveniente da simili nozioni, non frammischiò queste specolazioni con le sue indagini. Egli fu sommamente sorpreso dalla scoperta del principio qui sopra accennato, il quale dicesi gli si presentasse alla mente nell'osservare che l'acqua si alzava in un bagno all'immergervi del suo corpo; nell'

estasi di quel momento egli si slanciò fuori senza fermarsi a riprender gli abiti, sclamando: « Εὕρηκα » (l'ho trovato). La storia della corona di Jerone, connessa con quest'atto, è stata così variamente ripetuta, che è quasi impossibile il decidere quali fossero le vere circostanze, o con qual mezzo la soluzione del dubbio veramente seguisse. Questo, tuttavia, è pienamente chiaro: che se due masse di peso eguale, ma di diversa densità o gravità specifica, saranno successivamente immerse nell'acqua, la meno densa avendo maggior volume rimuoverà dal suo luogo un maggior corpo d'acqua. Se adunque la corona adulterata conteneva qualche metallo meno denso dell'oro, doveva rimuovere una maggior massa d'acqua che un'altra del medesimo peso in oro puro. Ma se la differenza di densità fosse piccola, si richiederebbe a determinare la questione un misuramento accuratissimo dell'acqua rimossa.

Il suo trattato sui corpi galleggianti riposa su principii matematici che sono ancora il fondamento della scienza: egli assume come postulato, che nell'acqua le parti che soffrono minor pressione, sono sempre pronte a cedere in qualunque direzione a quelle che sono maggiormente premute; e da ciò, coll'applicazione del raziocinio geometrico, egli ricava tutta la teoria dei corpi galleggianti di diverse forme geometriche. Egli fu indubitatamente il primo che fece un'applicazione considerevole delle matematiche come stromento di ricerche fisiche; e nessun individuo gettò forse il fondamento di più scoperte. L'ingegnosa e semplice tromba che consiste in un tubo contorto a guisa di rampinetto, e che tenuta in una posizione inclinata con un capo immerso nell'acqua, si fa girare sul suo asse, per cui l'acqua cade nei giri successivi della vite e finalmente

esce dall'altra estremità, fu invenzione di questo eminente filosofo, ed è conosciuta anche oggidì col nome di vite d'Archimede. Tutto ben considerato, noi dobbiamo pienamente concordare nella lode che gli fu data dal dottor Wallis: — « *Vir stupendae sagacitatis, qui prima fundamenta posuit inventionum fere omnium, in quibus promovendis aetas nostra gloriatur.* — Uomo di maravigliosa sagacità che gettò i fondamenti di quasi tutte le invenzioni che l'età nostra si gloria di promuovere ».

La morte di questo filosofo, siccome è noto, seguì per mano di un soldato che nell'espugnazione di Siracusa nol conobbe, quantunque il generale romano, Marcello, avesse dato ordini, e persino promesso una ricompensa, perchè gli si salvasse la vita (212 A. C.).

Apollonio di Perga

Fra i gran matematici che furono d'ornamento alla scuola d'Alessandria, niuno fu più celebre di Apollonio di Perga, discepolo di Euclide e quasi contemporaneo di Archimede. Egli fu distinto fra gli scrittori dell'età seguente col titolo di *gran geometra*. Certamente egli vuol essere collocato immediatamente dopo Archimede; ma secondo Pappo le sue alte doti intellettuali furono considerevolmente macchiate dall'arroganza e dall'invidia, e da un'inclinazione ad abbassare l'altrui merito e screditare l'originalità delle altrui fatiche.

L'opera sua più celebrata è quella sulle sezioni coniche. Prendendo il soggetto nello stato in cui l'aveva lasciato la scuola di Platone, pare che sia stato il primo ad avvedersi di ciò che abbiamo più sopra toccato, cioè della formazione di tutte queste curve per via di

sezioni diversamente inclinate di uno e medesimo cono. A noi questo appare sicuramente abbastanza ovvio; ma allorchè una nuova scoperta vien presentata dal suo autore sotto un aspetto peculiare, può accadere che si richiegga assai tempo prima che venga contemplata sotto un punto di vista più generale. Apollonio adunque procedette alla discussione di un gran numero di varie proprietà e analogie di queste curve. Avendole dedotte in primo luogo dal cono, egli passò a stabilire quelle proprietà per cui ci vien fatto di imaginare le curve come descritte *in plano*. È cosa degna di essere osservata che, nel far questo, non considera come d'una importanza fondamentale nel suo sistema quei punti così notevoli che sono situati dentro a queste curve e sono chiamati loro fuochi; egli vi fa bensì allusione, ma non sotto questo nome espresso. Tuttavia questi sono, per nostro avviso, inseparabili dalla principalissima nozione di tali curve come descritte *in plano*. Si annodino i due capi di una cordicella a due piuoli fissi in una superficie piana, e, secondo la maggiore o minor distanza de' piuoli l'uno dall'altro, verremo, col punto al quale il seno della cordicella tesa si stende, a descrivere un' ellisse di maggiore o minore ritondezza. Se i due piuoli saranno posti assai vicini l'uno all'altro (la lunghezza della cordicella rimanendo la stessa) l'ellisse si avvicinerà grandemente al circolo, e si confonderà con esso se i piuoli coincideranno, o formeranno *un solo* centro; nell'altro estremo l'ellisse diverrà lunga e stretta, e finalmente verrà a differir poco da una linea retta. I due piuoli sono situati ai fuochi. Se uno di essi sarà rimosso ad una grandissima distanza (allungandosi in proporzione la corda) l'ellisse si avvicinerà moltissimo ad

una parabola; e ne diverrà una se la distanza sarà infinita, o se si farà che il lato più lungo della corda si muova paralellamente a se stesso. Siccome l'ellisse è così costrutta da due raggi rivolgentisi, la cui somma è una quantità costante a tutti i punti della curva, così l'iperbola richiede una costruzione alquanto più complessa, in cui abbiamo una costante differenza. Tutte queste costruzioni possono essere fatte evidenti a un tratto dalla seguente semplicissima illustrazione. — Prendete tre fogli di carta trasparente, copritene uno con linee rette paralelle delineate a distanze eguali, per esempio: 1/4 di oncia l'una dall'altra; in ciascuno degli altri due fogli descrivete una serie di circoli concentrici esattamente distanti l'uno dall'altro come le linee paralelle. Preparato questo, basterà di mettere l'una serie di circoli sopra l'altra in un modo qualunque: se i circoli saranno coincidenti, di necessità non si vedrà altro che una sola serie di circoli; in caso diverso le due serie s'intersecheranno in un numero illimitato di punti, e ponendo un altro foglio trasparente su di entrambi, potremo agevolmente notarvi qualunque serie di punti d'intersezione. Questi, essendo riuniti, daranno diverse curve. Quelle poste verso la parte fra i due centri saranno ellissi di cui quei centri saranno i fuochi; queste curve essendo le intersezioni di due raggi la cui *somma* è sempre una quantità costante. Le curve poste al di fuori dai fuochi saranno iperbole generate dalle intersezioni di due raggi che sempre *differiscono* di una quantità costante. Se poi ad una delle serie di circoli sostituiremo il foglio dalle linee paralelle, le curve saranno parabole; le linee rette essendo, per così dire, porzioni di circoli i cui raggi sono infinitamente grandi. Oppure qui

l'intersezione è quella di due raggi, uno dei quali è infinito e sempre in una posizione paralella a se stesso; qui la somma o la differenza può esser presa per una quantità costante; e la parabola è, in ogni senso, il limite fra l'ellisse e l'iperbola.

La sezione formata da un piano che passi pel vertice del cono, consiste chiaramente in due linee rette che s'incontrano a quel punto. Qualunque sezione paralella a questa è un'iperbola, e tante iperbole si formeranno quanti saranno i piani paralelli sino alla posizione di coincidenza con la sezione verticale; quindi questa sezione rettilinea sarà il limite di tutte le iperbole. Ancora, non v'è difficoltà a concepire qualunque di queste iperbole applicata o delineata sul piano della sezione verticale, e in questo caso è facile il dimostrare, che supponendosi la sezione rettilinea e l'iperbola (che cade dentro quella) prolungate indefinitamente insieme col cono, l'iperbola si avvicinerà più e più costantemente alla sezione rettilinea; ma a nessuna distanza, per grande che sia, verrà a toccarla. Quindi questa linea retta è pure il *limite* alla direzione del lato dell'iperbola, ed è chiamata suo *assintoto*. È agevole il persuadersi che nulla di questo può accadere con la parabola e meno ancora con l'ellisse. Questo bel soggetto fu investigato da Apollonio.

Non v'è limite, tuttavia, alle varie speculazioni di questo genere in cui le fertili analogie e le relazioni di queste curve ci conducono. Aggiungeremo ancora questa; che siccome nel circolo il rettangolo delle ascisse è *eguale* al quadrato dell'ordinata, così in queste altre sezioni del cono gli è eguale quando è nuovamente moltiplicato in una certa proporzione costante; e siccome nella parabola un'ascissa è infinita, la parte

variabile è qui ridotta ad un solo termine, moltiplicato da una quantità costante. Questo dà origine alle equazioni delle curve. Da quella dell'ellisse si deduce, con una operazione non troppo lunga, la costruzione della curva per mezzo di un apposito stromento, cioè di un regolo con due piuoli che si muovono in due incastri ad angoli retti: qualunque punto del regolo delinea un quadrante di ellisse. Se i due piuoli sono collocati l'uno vicino all'altro, l'ellisse si approssima alla forma di un circolo. Tutte le curve sono da vedersi nelle forme prese dall'ombra di un oggetto circolare su di una superficie piana variamente inclinata. Le sezioni coniche di Apollonio sono divise in otto libri: i quattro primi sono conosciuti nell'originale greco, l'ottavo è stato smarrito, e gli altri tre gli abbiamo in una versione araba. Halley tentò di ristorare il libro perduto. Gli ultimi quattro libri contengono le porzioni più originali dell'opera. Fra le invenzioni dell'autore si trovano, la prima nozione di circoli osculatori e di evolute, e parecchie investigazioni relative ai massimi e ai minimi. È facile il formarsi un'idea di quelle, se imaginiamo una porzione di una curva qualunque cui siano tratte linee perpendicolari, in ogni punto successivo, alla tangente a quel punto, ovvero (che viene ad essere lo stesso) alla curva nel punto di contatto. Queste perpendicolari o *normali*, siccome sono chiamate, di necessità s'intersecheranno vicendevolmente quando siano prolungate. Se tutti i punti delle loro intersezioni saranno notati e riuniti, ne risulterà una certa curva peculiare che si potrà delineare, e sarà evidentemente dipendente dalla natura della curva originale; questa si chiama l'*evoluta* della prima curva, e non sarà difficile il vedere che data per fatta questa curva, se

una cordicella le sarà avvoltata intorno, l'estremità della cordicella, nello svolgersi segnerà la curva originale che, relativamente all'altra, vien detta la sua *involuta*.

Preso per centro il punto in cui due normali consecutive s'intersecano, un circolo descritto alla distanza della curva originale, è chiamato suo circolo di curvatura per quel punto, ovvero circolo osculatore.

La concezione generale dei massimi e dei minimi è ancora più semplice. Se da un punto qualunque si tirerà un numero di linee ad una data linea retta, una di queste sarà più corta delle rimanenti o la *minima*; e sarà la perpendicolare. Di tutte le linee che tagliano un circolo il diametro sarà la *massima*. Questi sono casi ovvii; ma in breve altri casi di maggiore complessità vennero ad essere investigati.

Il soggetto dei *luoghi* geometrici, siccome abbiamo già osservato, era stato coltivato nella scuola Platonica. Pappo parla con molta lode di un'opera su questa materia, di Aristeo discepolo di Platone e maestro di Euclide. Nè quest'opera, nè un trattato del medesimo autore sulle sezioni coniche ci sono pervenuti: ma Apollonio trattò tanto il primo quanto il secondo soggetto, e l'opera sua « *De Locis planis* », è una produzione di gran dottrina e di grand'ingegno, che comprende una notevole collezione di curiose proprietà del circolo e della linea retta. Questo trattato, specialmente come venne ristaurato nelle sue parti imperfette dal dottore R. Simson, è un saggio mirabile dello stile dell'antica geometria. Un'altra produzione di Apollonio intitolata: « *Sectio Rationis* » è un trattato elementare sull'analisi geometrica, in cui proseguendo i metodi cominciati nei dati d'Euclide entra ampiamente nel

soggetto, e produce molti di quei sottili e bei metodi per cui queste favorite specolazioni dei geometri greci furono con tanta eleganza e tanto buon esito coltivate.

Nicomede

Nicomede (circa il 200 A. C.) è assai noto come uno di quei geometri che intrapresero la soluzione dei celebrati problemi della duplicazione del cubo e della trisezione di un angolo. Per queste soluzioni impiegò il metodo dei *luoghi* ed inventò una curva geometrica particolare, con la quale si fanno agevolmente costruzioni per isciogliere questi problemi. La curva fu chiamata *concoide*, dalla somiglianza della sua forma agli avvolgimenti di una conchiglia. La descrizione meccanica ch' egli ne imaginò è forse, pei vari movimenti combinati che presenta, una delle più singolari di questa specie di costruzioni meccaniche. Su di un regolo in forma di T, muovesi un altro regolo retto, in modo che un punto fisso di esso scorre lungo la linea orizzontale del T, mentre il regolo passa sempre per un punto fisso nel suo gambo. Se pertanto un punto qualunque in questo regolo movibile sarà preso per punto delineatore, si troverà che descrive una specie di curva, diversa secondo la posizione del punto scelto, la quale offrirà tutte le notevolissime varietà delle concoidi. — Niun altro monumento dell'ingegno di Nicomede è giunto sino a noi. Questa costruzione non è certamente altra cosa che un'elegante specolazione: tuttavia essa somministra materiali di contemplazione a coloro che si dilettano nel seguire i singolari risultamenti che spesso nascono da quelle combinazioni di condizioni geometriche che sono apparentemente le più

semplici. È una specie di paradosso che ciascun punto di un regolo retto descriva così nello stesso tempo una traccia curvilinea distinta, di forma affatto differente. Se non giova ad altro, sarà almeno utile ad eccitare la curiosità e a stimolare le investigazioni.

Astronomia: — Aristarco, Eratostene

Parve che l'astronomia acquistasse nuova vita nella scuola di Alessandria. In quel magnifico osservatorio è da credersi che per la prima volta si praticasse un corso regolare e sistematico di osservazione, col disegno di determinare accuratamente quei fatti primari che sono la sola base reale della scienza. Quest'opera importante e laboriosa fu cominciata da Aristillo e Timocari, e fu principalmente limitata a quegli elementi fondamentali, — i luoghi delle stelle fisse. A costoro succedette Aristarco l'anno 281 A. C.

Alla diligenza di un osservatore, Aristarco univa lo spirito di un filosofico investigatore di alcune delle relazioni attuali del sistema del mondo. Egli professava il sistema Pitagorico o Solare. Una delle maggiori obbiezioni che gli si facesse era questa, — che, se la terra fosse in moto, una stella fissa, veduta da un punto nell'orbita della terra, sarebbe da noi assegnata ad un punto nel cielo diverso da quello cui si assegnerebbe quando siamo al punto opposto, mentre, in fatto, non si osserva una tale differenza. La risposta di Aristarco dimostrò che egli aveva un'esatta idea della immensità degli spazi celesti; poichè mantenne che tutta l'orbita della terra non è altro che un punto in paragone della distanza delle stelle fisse. E invero questo renderebbe una tale differenza nella posizione apparente

(detta parallasse) così picciola da essere affatto insensibile alle più sottili osservazioni.

Suggerì pure un modo ingegnoso di ottenere le distanze relative del sole e della luna dalla terra. Allorchè la luna è esattamente a mezza strada tra nuova e piena, un momento di considerazione ci fa conoscere che i tre corpi formano un triangolo che ha un angolo *retto* alla luna. In questo caso adunque se misuriamo l'*angolo* sotteso fra la luna e il sole, la ragione delle loro distanze dalla terra è semplicemente (in linguaggio moderno) quella del cosseno di quell'angolo al raggio. La sua determinazione, quantunque ottenuta senza precisione, servì a dare un'idea molto più accurata di queste distanze che non si fosse avuta per l'addietro. Egli tentò pure di stimare le grandezze dei due luminari.

Il nome di Eratostene, altro astronomo Alessandrino, fu reso per sempre memorabile dal suo tentativo (il primo che mai si facesse) di stimare la grandezza attuale del globo sul quale viviamo. Che la figura della terra fosse di specie sferica, era stato da buona pezza mantenuto nelle scuole della Grecia; e v'erano tanti argomenti così ovvii in favore di questa credenza, che dovette tenersi per evidente tosto che gli uomini cominciarono a ragionare su questo soggetto. Non abbiamo motivo di supporre che si fosse fatto un attuale tentativo di misurare il volume della terra prima del tempo di Eratostene. È vero che Aristotile accenna che alcuni matematici avevano assegnato alla terra la circonferenza di 40,000 stadi. Ma non se ne diede alcuna ragione, e sembra che varie congetture prevalessero intorno a questo soggetto. Il principio di operazione abbracciato da Eratostene fu lo stesso che

fu seguito dagli astronomi moderni, e in teoria è perfettamente esatto e soddisfacente. Osservazioni dell'altezza del meridiano dei corpi celesti fatte a due stazioni sotto lo stesso meridiano daranno la differenza di latitudine delle stazioni. Se adunque la distanza fra di esse sarà attualmente misurata, avremo evidentemente la lunghezza di un grado di latitudine in termini della misura impiegata; e quindi la lunghezza di tutta quanta la circonferenza del globo. Quindi pure ne possiamo calcolare (ad un grado qualunque di approssimazione) tanto il diametro, quanto la massa.

Tuttavia quando Eratostene venne a mettere questa idea in pratica, le determinazioni dei dati erano così vaghe (contentandosi egli di una semplice supposizione della distanza delle due stazioni) che il risultamento non sarebbe di alcun pregio, quand'anche non fosse, per noi inutile, per la nostra ignoranza della lunghezza dello stadio da lui adoperato. Le sue osservazioni furono fatte per mezzo dell'ombra di un gnomone; e con lo stesso metodo ha pure notate osservazioni sui solstizi, le quali vanno singolarmente d'accordo coi risultati che si sarebbero avuti a quel tempo secondo la teoria moderna della diminuzione di obliquità, giusta i principii di gravitazione. Moriva l'anno 194 A. C.

Ipparco

Ipparco, che forse fu il principale ornamento dell'osservatorio Alessandrino, fiorì l'anno 150 A. C., ed è stato chiamato il padre dell'astronomia. Sgraziatamente tutte le sue opere, tranne una di assai poca rilevanza, si sono smarrite. Sappiamo tuttavia da Tolomeo i particolari delle sue ricerche. Dall'opera sua esistente

si è ricavato che possedeva i principii della trigonometria sferica, di cui non troviamo traccia in alcun autore greco anteriore. Delambre lo considerò come inventore di questa scienza; e, se ciò fosse, questo solo gli darebbe dritto al più alto grado di lode, tanto in un punto di vista astratto, quanto perchè senza questa scienza ausiliaria l'astronomia non avrebbe potuto fare un sol passo.

Non solamente Ipparco determinò più accuratamente la lunghezza dell'anno solare, che prima di lui non si fosse fatto, ma investigò con una cura particolare l'ineguaglianza nel movimento del sole che in un modo generale era stata assai prima notata. Le osservazioni più ordinarie dei solstizi e degli equinozi bastavano a dimostrare che il sole impiegava maggior tempo a passare per la parte settentrionale che per la meridionale dell'eclittica. Ipparco determinò essere la prima di 187 giorni e la seconda di 178 1/4. Per dar ragione della maggiore velocità del movimento del sole, durante la seconda parte del suo corso, Ipparco imaginò la teoria che l'orbita apparente del sole fosse bensì circolare, ma che la terra non fosse nel suo centro. Questo darebbe una spiegazione plausibile della differenza apparente di moto. Fece pure altre simili osservazioni per rispetto alla luna, e costrusse una somigliante teoria della sua orbita; osservando pure la sua leggera inclinazione al piano dell'eclittica.

Intorno all'accennata teoria dell'orbita solare d'Ipparco, ed alle idee del sistema planetario generalmente seguito nella scuola di Alessandria, si trova una considerevole diversità d'opinione fra i diversi storici. Alcuni sostengono che i primi principii, almeno, della teoria poscia abbracciata da Tolomeo, furono intro-

dotti nei tempi di cui ora trattiamo. Non sarà dunque fuor di proposito il dar qui un breve saggio della sua natura.

Tostochè i moti apparenti dei pianeti furono, sino a un certo punto, conosciuti per mezzo dell'osservazione, il formare un sistema col quale la loro vera natura potesse essere nel miglior modo rappresentata, divenne naturalmente un oggetto di curiosità e d'importanza. Il più semplice e il più naturale, quello di un moto uniforme intorno alla terra, fu presto scartato quando si ebbe osservato che il moto in certi periodi diveniva più lento, che il pianeta se ne stava poscia stazionario, quindi per qualche tempo era retrogrado, e di bel nuovo stazionario, e dopo di ciò progressivo; cose tutte che ricorrevano a certi periodi ed erano note per le fatte osservazioni.

Il suggerimento originale di un modo di sciogliere la difficoltà, e di rappresentare questi movimenti apparentemente complessi con una semplice ipotesi, è stato attribuito ad Apollonio. Egli imaginò che nella circonferenza di un circolo avente la terra per suo centro, si movesse il centro di un altro circolo, nella circonferenza del quale volgevasi il pianeta. Il primo fu chiamato il *deferente*, il secondo l'*epiciclo*, e il movimento in ciascuno di essi fu supposto essere uniforme. Il movimento del centro dell'epiciclo nella circonferenza del deferente andava verso levante; quello del pianeta nell'epiciclo verso ponente. In questo modo i cambiamenti osservati da un movimento diretto a uno retrogrado, con punti stazionari intermedii, furono facilmente spiegati, e le ragioni dei raggi, necessarie per render conto dell'osservata estensione di questi cambiamenti, furono pure calcolate.

In questo modo si ottenne un oggetto allora considerato di grand' importanza per l'astronomia, vale a dire, la produzione di un moto variabile, ovvero un moto che cangiasse continuamente di velocità e di direzione, per via di due movimenti circolari uniformi, ciascuno dei quali conservava sempre la medesima quantità e la medesima direzione.

La teoria imaginata da Ipparco per rappresentare l'ineguaglianza del moto del sole (di cui abbiamo già parlato) è giudicata da alcuni autori involvere questo principio degli epicicli; e consistere in un epiciclo di picciol raggio, nel quale il sole rivolgevasi con la medesima velocità angolare, ma in una direzione opposta a quella con cui il centro dell'epiciclo movevasi nel deferente. Poco importa tuttavia di entrare in simile questione: era bensì necessario di accennarla come soggetto generale della teoria degli epicicli, a cagione della celebrità che poscia acquistarono, come vedremo in appresso.

Egli fece pure il primo tentativo di stimare le distanze del sole e della luna. Il suo calcolo era fondato su misure dei loro diametri apparenti e del diametro dell'ombra della terra all'orbita della luna; la qual cosa fu ricavata dal tempo occupato dalla luna nel passarvi a traverso in un eclisse (1).

Il più importante, per avventura, di tutti i servizi resi da Ipparco all'astronomia, fu la formazione di un catalogo delle stelle fisse: cioè un' enumerazione di tutte le stelle principali riferite alle loro attuali posizioni in latitudine e longitudine. Nulla in fatto fuori di questo esame può stabilire il loro dritto al titolo di corpi *fissi*.

(1) Libes. *Hist. de Phys.* i. 68.

Questa era evidentemente una fatica che richiedeva un'assiduità ed una precisione immensa. Ma il suo pregio principale è di essere una rappresentazione esatta dello stato del cielo *ad un' epoca particolare*. Egli è il paragone di un catalogo antico con uno fatto dietro ad osservazioni dei tempi nostri che dà un pregio alle due serie di osservazioni. Egli è da questo paragone che impariamo se, nel corso de' secoli, l'attuale configurazione delle stelle ha sofferto qualche cambiamento; è per questo mezzo solo che possiamo decidere se le stelle fisse sono ciò che sono credute essere, cioè punti veramente fissi come termini di misuramento, cui possiamo riferire le posizioni dei corpi evidentemente erranti del nostro sistema; misurando dai quali, come punti fissi, veniamo a stimare i movimenti di questi, e deduciamo con accuratezza le leggi che li governano. Quindi il pregio dei cataloghi delle diverse epoche. Se questi antichi astronomi avessero potuto giovarsi di mezzi strumentali perfetti come i nostri per fare i loro cataloghi, vi sono molte questioni rilevantissime in astronomia che avrebbero adesso potuto essere sciolte, ma che nelle presenti circostanze se ne rimarranno forse per secoli indecise. Molte delle minori variazioni richieggono l'accumulazione dei secoli per essere fatte sensibili. Tuttavia i grandi miglioramenti strumentali dei moderni hanno così potentemente aiutato le ricerche dell'astronomo, che, anche nel periodo comparativamente breve scorso dall'invenzione del telescopio, la maggiore accuratezza delle osservazioni ha sino a un certo grado compensato della brevità degl' intervalli di tempo in cui i paragoni furono fatti, e molti di questi interessantissimi punti d'investigazione sono stati chiariti, quantunque molti altri rimangano probabilmente ancora nell'oscurità.

Si fu in questo modo che Ipparco paragonando il suo catalogo con le osservazioni di Aristillo e di Timocari, fatte 150 anni prima, vide che tutte le stelle fisse, mentre conservavano le loro latitudini sensibilmente inalterate, avevano progredito di circa due gradi in longitudine; ovvero, ciò che viene allo stesso, i punti equinoziali apparivano essere tornati indietro della medesima quantità lungo l'eclittica. In altri termini, egli fece la prima scoperta della *precessione degli equinozi*, come un nudo fatto che il trascorrere degli anni aveva prodotto alla luce, ma che non fu spiegato sino al tempo di Newton.

Siamo pure debitori ad Ipparco del primo tentativo di fissare la geografia su principii esatti, col riferire la posizione di luoghi sulla superficie della terra alle loro latitudini e longitudini. Egli propose di determinare le seconde per mezzo degli eclissi della luna. Rivolse pure la sua attenzione alla più accurata correzione del calendario. Propose di quadruplicare il periodo di Calippo e di sottrarne un giorno. In generale, la lode che dobbiamo dare ad Ipparco è senza dubbio grandissima, quantunque l'elogio che ne fa Plinio voglia considerarsi alquanto stravagante: « *Hipparcus nunquam satis laudatus, ut quo nemo magis comprobaverit cognationem cum homine syderum, animasque nostras partem esse coeli ..... ausus rem etiam Deo improbam, annumerare posteris stellas* ». (Hist. Nat. ii. 26). « Ipparco non mai abbastanza lodato, più del quale nessuno ha provato la cognazione delle stelle coll'uomo, e che le anime nostre sono parte del cielo ..... egli osò pure commettere una empietà verso Dio, coll'enumerare le stelle ai posteri ».

Con questo infaticabile astronomo, lo zelo di fare

osservazioni pare che sia andato mancando: e per varie cagioni, fra le quali le guerre de' posteriori sovrani dell' Egitto possono forse aver avuto la loro parte; cosicchè non ostanti gli sforzi fatti da Tolomeo Fiscone per risvegliare le scienze decadenti (157 A. C.) l'astronomia si ridusse gradualmente a bassissimo stato. Teodosio e Menelao scrissero bensì sulla sfera e sulla trigonometria sferica, ma per parecchi secoli non si fece progresso alcuno in queste scienze che fosse importante.

Scienza fisica

Il primo trattato ottico uscì dalla scuola di Alessandria. La regolarità con la quale i raggi della luce seguitano un corso rettilineo sembrava naturalmente farne un soggetto di studio pel geometra. Euclide, vista questa affinità, cominciò ad applicare la scienza, che aveva già così felicemente coltivata, a spiegare le leggi da cui le direzioni prese dai raggi della luce sono regolate. Ciò avvenne probabilmente alcuni anni prima delle fatiche di Archimede nel ridurre altre parti della scienza fisica sotto l'imperò delle leggi matematiche. Esistono due trattati, uno sull' ottica (nel senso più limitato della teoria della visione), l' altro sulla catottrica, entrambi attribuiti ad Euclide, ma erroneamente per quanto adesso generalmente si pensa. Nell' ottica si ricercano i principii per cui giudichiamo della grandezza degli oggetti; ma il raziocinio procede troppo esclusivamente sulla mera considerazione geometrica dell'angolo sotteso, senza badare ad altre cause. Sott' altri riguardi le investigazioni sono pur anche erronee. Nella catottrica si pongono pure i principii

generali del luogo delle imagini per riflessione, ma non in una maniera corretta; e le prove sono oscure e difettive.

Questi ed altri difetti così indegni del valente autore cui questi libri sono stati attribuiti, hanno indotto i critici a negarne di entrambi l'autenticità. Alcuni gli hanno considerati (e specialmente la catottrica) come una compilazione di qualche ignorante pretendente alla scienza; mentre altri li supposero essere versioni viziate di un trattato originale, che si crede da tutti essere stato composto da Euclide, e di cui queste opere sarebbero estratti trascurati o mal fatti compendii.

Le indagini meccaniche cominciate da Archimede furono un secolo dopo, ossia intorno al 150 A. C., ampliate da Ctesibio e da Erone nella scuola di Alessandria. Essi furono i primi che, con un'analisi di tutti gli ordigni meccanici nei loro elementi primari, ridussero tutte le loro azioni a poche combinazioni di cinque principii semplici, ai quali diedero il nome di δυνάμεις, o potenze meccaniche; sistema che è ancora presentemente seguitato.

Nell' idrostatica, dopo lo sviluppo (siccome abbiamo veduto) di alcuni dei principii più essenziali dovuto ad Archimede, non appare che si sia fatto alcun progresso materiale; sebbene parecchi dei suoi successori arricchissero la scienza di miglioramenti pratici.

Non si sa bene a che tempo la tromba comune sia stata inventata; ma colle cognizioni già da lungo tempo possedute debbe essere stata un'invenzione agevole. Che dal vedere l'acqua ascendere in un tubo per l'azione della pressione dell'aria sull'acqua di un recipiente, si sia pensato che questa poteva essere spinta in su, ell'era una considerazione troppo semplice perchè si accordasse

con le idee prevalenti di una teoria filosofica; e l'abborrimento della natura pel vacuo era già stato stabilito come una spiegazione più logica di questa classe di fenomeni. È certo tuttavia che il principio debb' essere stato praticamente conosciuto prima della sua più complessa applicazione nella *tromba premente*, inventata da Ctesibio che, dopo Archimede, fu forse il più gran meccanico dell'antichità. Questa fu prodotta quasi esattamente nella forma della moderna tromba a fuoco. Allo stesso filosofo si attribuiscono pure la clessidra od orologio a acqua, e lo schioppo a aria. — Il suo contemporaneo Erone si distinse per invenzioni più curiose che utili; quali sono, ingegnose combinazioni di sifoni ecc. formanti varie specie di fontane e di giuochi di acqua. Queste invenzioni servono ad illustrare il progresso fatto nella cognizione dei principii, quantunque le teorie cui questi principii si riferiscono, fossero fallaci.

Erone abbracciò l'idea dell'abborrimento della natura pel vacuo, almeno come stendentesi ad una porzione considerevole o sensibile dello spazio. Egli pose questa limitazione perchè credette che un vacuo esiste negl'interstizi insensibilmente piccioli dei corpi; e in questo modo spiegò la comprimibilità della materia. Trovò un metodo di fare un vacuo in un vaso, che si approssima assai alla macchina pneumatica, e praticamente l'applicò ad uso di coppette, ma per ispiegarne l'effetto imaginò la teoria lungamente celebrata del succhiamento.

Secondo questa teoria, la porzione superiore del liquido o sostanza è tratta su in un tubo o vaso come se fosse attratta e sostenuta, per così dire, da qualche potere misterioso ed occulto, applicato nell'atto del succio, mentre le parti che succedono sono sostenute

dalle superiori; e il grado cui quest' azione può essere spinta, è limitato dal peso della colonna sospesa.

Possidonio, alquanto più tardi che Erone, si diede anch'esso alla coltivazione delle medesime scienze. Investigò la natura del flusso e riflusso (1), e discusse la refrazione atmosferica. In questo fu seguito da Cleomede, il quale paragonò pure le grandezze della terra e del sole (2).

La nostra conoscenza di tutte queste invenzioni è principalmente ricavata dagli scritti di Vitruvio. Alcune delle opere di Erone, e di altri dell'età sua, si trovano nella pregevole collezione pubblicata sotto il titolo di « *Mathematici Veteres* ». Altre esistono manoscritte nelle varie biblioteche pubbliche d'Europa.

SEZIONE III

Stato della scienza durante l'impero Romano sino alla sua dissoluzione.

Scienza fisica presso i Romani

Per poco che uno conosca la letteratura dei Romani, sarà facile il vedere che in quella nazione così illustre in guerra, in amena letteratura e in governo civile, in ogni tempo prevalse una notevole ripugnanza allo studio della scienza fisica e matematica. Quando i tesori della greca letteratura furono aperti all'esordiente curiosità di Roma che si riposava dei suoi primi trionfi, le opere dei poeti, degli oratori e dei filosofi morali di quella contrada furono avidamente cercate, e studiate

(1) Cic. *De Nat. Deor.* ii. (2) Meteor. ci. i.

con ardore; mentre quelle dei geometri e degli astronomi furono totalmente neglette. E queste scienze cotanto stimate nel paese che le produsse, non erano solamente trascurate in Italia, ma eziandio considerate come indegne dell'attenzione di un uomo di sangue gentile e di educazione liberale; essendo riguardate come aventi un non so che di carattere meccanico e per conseguenza servile. Si vedeva l'artefice meccanico far uso dei loro pratici risultamenti, e si supponeva perciò che i principii astratti ne fossero dal suo tocco contaminati. Questa sfortunata peculiarità dell'indole dei suoi concittadini è avvertita da Cicerone. E non sarà fuor di luogo il ricercare se simili pregiudizi non prevalgano sino a un certo punto fra noi stessi; e se l'amore esclusivo degli studi classici e della letteratura romana, come sola base dell'educazione delle classi più agiate, non è per avventura la sorgente da cui troppo comunemente procedono.

Tuttavia giustizia vuole che si ammetta, trovarsi esempi in alcuni degli autori romani di sentimenti più favorevoli alla scienza: così la nota esclamazione di Virgilio: —

« *Felix qui potuit rerum cognoscere causas!* »

(Felice colui che conosce le cause delle cose!) sembra indicare una più giusta estimazione del pregio delle verità fisiche.

Nè dobbiamo omettere di far menzione dei poeti filosofici, Lucrezio, Manilio ed Ovidio. Delle loro notissime produzioni sarebbe superfluo il dire altro se non che la sola circostanza dell'aver scelto il soggetto della filosofia naturale, somministra una presunzione che i loro lettori hanno dovuto generalmente provare una certa curiosità per questa materia. E sebbene essi

impieghino tutta l'eloquenza della poesia per sostenere quelle teorie delle scuole che, a dir vero, sono assai meglio adattate a questa illustrazione che non ad una seria discussione, tuttavia si debbe confessare che hanno posto alcune parti del sistema della natura in un aspetto che sorprende, e tentato di renderle attraenti rivestendole di tutto il fascino delle poetiche imagini.

Durante tutta l'esistenza della repubblica udiamo parlare di un solo Romano che abbia acquistata una riputazione eminente in astronomia. C. Sulpizio Gallo è citato da Cicerone come un instancabile calcolatore di ecclissi; ed abbiamo da Tito Livio ch'egli ne predisse uno della luna per la notte precedente una battaglia fra i Romani e i Macedoni, il quale avrebbe spaventato i superstiziosi Romani, e forse cagionato la loro sconfitta, se non fosse loro stato predetto e destramente convertito in un presagio di vittoria. Sappiamo che una causa simile produsse la sconfitta dell'esercito ateniese all'assedio di Siracusa.

Oltre a Sulpizio Gallo ci sono pervenuti i nomi di alcuni pochi Romani i quali si dice che abbiano scritto sopra soggetti fisici; ma le opere loro sono perdute e non abbiamo mezzi di giudicare del loro sapere. Uno di questi è Varrone. Cicerone medesimo tradusse il poema di Arato, il quale veramente contiene poco che sia degno di essere tradotto. La sua miglior parte è una semplice esposizione di alcuni degli elementi più ovvii dell'astronomia; mentre una gran porzione ne è occupata da precetti astrologici. La trascuranza dell'astronomia presso i Romani fu palpabilmente manifesta nella confusione in cui il loro calendario venne ad essere involto. Ai tempi di Giulio Cesare la differenza fra il

principio dell'anno civile e quello del solare si era talmente accumulata, che ammontava a tre mesi. Il genio universale e l'acutezza d'ingegno di quel grand'uomo lo indussero, fra le altre cose, a coltivare l'astronomia. Sappiamo da Plinio che fece osservazioni e compose alcune opere su questo soggetto, le quali sono tuttavia interamente perdute. Nel caso di cui si tratta egli si applicò coll'aiuto di Sosigene, astronomo greco, alla correzione del calendario. Il principio proposto era di prender l'anno civile come se fosse di 365 giorni, ed ogni quarto anno di aggiungervi un giorno intercalare; la qual cosa è quasi esatta, ma non è precisa, poichè la lunghezza dell'anno, accuratamente calcolata, è un po' minore di 365 giorni e 1/4. Tuttavia fu allora considerata come bastantemente precisa e il giorno aggiunto fu posto dopo quello chiamato « *Sexto calendas martii* », e fu quindi nominato « *Bis sexto, etc.* » donde il nome di bisestile. In questo si riconoscerà il modo di computazione seguito ai nostri tempi, con una picciola modificazione stata poscia introdotta.

Una disposizione alle fisiche investigazioni, dove esistè presso i Romani, non produsse quasi altro effetto fuorchè una conoscenza delle precedenti ricerche degli altri, una giusta ammirazione di esse, ed una diligenza nel raccoglierle e nel notarle. Mai non salì ad alcun grado di originalità; e tutti gli avanzi della letteratura romana non ci offrono un'opera sola d'invenzione scientifica o di scoperta fisica originale. Tuttavia possediamo gli scritti di parecchi assidui raccoglitori dei tesori del sapere, ai quali siamo grandemente tenuti; ed alcuni di essi hanno certamente mostrato di possedere un ingegno superiore a quello di semplici compilatori.

Plinio il maggiore ci ha lasciato le più estese me-

morie che possediamo della conoscenza della natura, in tutte le sue parti, cui si era arrivato a' suoi tempi. Non appare sempre se debba intendersi come proponente le sue proprie idee, o meramente come annotatore di ciò che è stato osservato dagli altri; ma qui possiamo riferire ciò che dice delle maree, con parole che singolarmente illustrano la cognizione cui allora si era giunto intorno a questo curioso soggetto. Dopo di aver accennato che Pitea contemporaneo di Aristotile aveva mantenuto, sebbene in una maniera vaga, esservi qualche connessione fra le maree e la luna, così procede (1): — « Il flusso e riflusso della marea è assai maraviglioso: esso avviene in molti modi, ma la causa è nel sole e nella luna ». Quindi accuratissimamente descrive il corso della marea durante una rivoluzione della luna; e poi soggiunge: — « Il flusso ritorna ogni giorno a un'ora diversa, accompagnato, quasi da ancella, dal pianeta che si alza sempre in un luogo diverso dal precedente, e con avido succio attira a sè il mare »,...... « Quando la luna è nella parte aquilonare e più remota dalla terra, le maree sono più miti che non quando, passata all'austro, ella fa sentire la sua forza con una pressione più vicina ». Il senso di quest'ultima frase non è affatto chiaro; ma la spiegazione intiera è certamente degna di osservazione.

Strabone narra pure che Possidonio manteneva l'esistenza di tre periodi nella marea, — il giornaliero, il mensuale e l'annuo — « in simpatia con la luna ». Come geografo filosofico, Strabone può egli stesso essere considerato uno degli ornamenti della scienza romana. Morì l'anno di Cristo 25.

(1) Lib. ii, c. 97.

Plutarco, ad un periodo alquanto posteriore (intorno l'anno 110 E. V.) ha dritto di essere collocato tra i filosofi, come fra gli scrittori letterari di Roma. Non solamente viaggiò per raccogliere cognizioni scientifiche ma, sotto il patrocinio dell'imperatore Traiano, aprì una scuola in Roma dove lesse con gran riputazione. Le sue specolazioni filosofiche non appaiono in generale possedere gran merito di originalità; ma vi è espressa un' idea della quale si vuol far menzione. Egli suggerisce che il movimento della luna è dovuto ad una causa simile a quella che trattiene un ciottolo in una fionda quando si fa girare attorno rapidamente. Si vuol confessare che questa è una giusta illustrazione del modo in cui le fisiche indagini procedevano presso gli antichi. I fatti erano osservati per quanto i loro mezzi di osservare il comportavano; quindi si trovava o s'imaginava qualche analogia, o se ne traeva qualche illustrazione accidentale; e qui si abbandonava la materia. Nè si vedeva che queste analogie e illustrazioni diligentemente seguite sono la strada infallibile alla verità filosofica. Egli fu per non aver mai seguito queste teorie congetturali nelle loro conseguenze, e per non aver mai tentato di assoggettarle alla prova di valori numerici, — in una parola per aver fatto un cattivo uso delle ipotesi, piuttosto che per troppo amore per esse, che gli antichi non giunsero ad interpretar bene la natura, e a farsi un giusto sistema di conoscenze fisiche. Nello stesso modo Lucrezio accenna il fatto, che nel *vacuo* tutti i corpi cadono insieme; ma qui abbandona il soggetto senza più parlarne, o proseguirlo in alcuna delle sue conseguenze (1).

(1) Lib. ii. vers. 238.

Nell'ottica pratica sappiamo che gli antichi erano giunti a costruire specchi metallici, tanto piani, quanto sferici. Plutarco c'informa che il fuoco di Vesta non si poteva riaccendere se non coi raggi del sole concentrati da uno specchio *conico* di rame.

Probabilmente sin dal tempo di Aristofane (434 A. C.) s'impiegavano vetri in forma di sfere come lenti per ardere raccogliendo i raggi del sole in un fuoco. Plinio dice che un globo di cristallo di rocca era impiegato pel medesimo oggetto, e se ne faceva uso nelle operazioni chirurgiche. Egli parla pure del potere di un globo di vetro pieno d'acqua di produrre un forte calore col riunire i raggi del sole; ed esprime la sua sorpresa che l'acqua stessa se ne rimanga intanto perfettamente fredda (1).

Il fatto che, in certi casi, il guardare a traverso vetri produca l'effetto d'ingrossare, è notato da Seneca; ma che questo dipenda dalla forma lenticolare del vetro, sembra essere stato intieramente ignorato; e questo caso fu confuso con altri in un modo che prova l'assenza totale d'ogni idea della causa. Seneca fa menzione della virtù d'ingrossare di un globo di vetro pieno d'acqua, associandovi una teoria affatto imaginaria, che le stelle sono ingrossate essendo viste a traverso una nuvola; e ne attribuisce la causa a qualche potere dell'*umidità*. Si trovano pure specolazioni della medesima natura sull'arco baleno. Forse uno dei più curiosi ed interessanti soggetti avvertiti da questo scrittore è il fenomeno dei colori prismatici. Egli descrive distintamente una verga di vetro angolare, evidentemente di una forma prismatica, la quale, dic'egli, produce

(1) Lib. xxxvi. 67.

colori simili a quelli dell'arco baleno. Egli stima che questo avvenga per la circostanza che l'imagine è formata irregolarmente (*quia enormiter facta est*); ed aggiunge che un tal vetro propriamente costrutto darà tante imagini del sole quanti sono i suoi angoli. Il che non è altro se non la moltiplicazione di un oggetto per via di un vetro tagliato a molte facce (1). Appare eziandio ch'egli abbia osservato la refrazione atmosferica e l'elasticità dell'aria (2).

Aulo Gellio (intorno all'anno 130 A. C.), fra i vari soggetti che ha notati, ci ha trasmesso alcuni curiosi particolari relativi all'ottica pratica, quale era conosciuta a quei tempi; e parlando delle proprietà dei riflettori, ha particolarmente fatto menzione di una relativa agli specchi concavi, la quale, per lungo tempo, sfidò la sagacità dei comentatori più scientifici ad interpretarla, finchè ricevette non è molto una compiuta spiegazione dal sig. Horner (3). Questa proprietà, così oscuramente espressa (come sono parecchie altre di quelle che qui si discutono), è di un grand'uso negl'inganni ottici, e senza dubbio era la chiave di più di una apparizione miracolosa in un'età ignorante. La proprietà particolare cui si allude, dipende da una semplicissima considerazione del corso dei raggi riflessi.

Sebbene i Romani fossero poco atti ad aumentare le verità della filosofia fisica, essi prontamente accoglievano le sue applicazioni pratiche; e l'accrescimento del lusso porgeva un campo all'esercizio di quei mezzi della scienza, lo studio dei cui principii superava il

(1) Quaest. Nat. i, 6. (2) Lib. v, 8. e vi. 18.
(3) Un fatto dimenticato nell'ottica. Bath, 1832.

loro grado di raffinamento intellettuale. Ateneo narra che la virtù raffreddatrice dell'evaporazione era conosciuta e grandemente impiegata nell'economia della tavola. Ma in molti casi le loro invenzioni meccaniche mostrano una singolare ignoranza di alcuni principii fisici che sembrano essere della più ovvia natura. Così i loro acquedotti, costrutti con fatica e spese infinite, somministrano la prova che ignoravano la legge per cui l'acqua si alza, per qualunque comunicazione di tubi, sino al suo livello originario.

Un raccoglitore diligente troverebbe, senza dubbio, molte notizie sparse negli scritti di quelle età, che darebbero chiarimenti curiosi sullo stato delle cognizioni scientifiche: ma senza che entriamo in altri particolari, ciò che abbiamo qui accennato basterà probabilmente a dare un'idea generale del soggetto.

In conclusione, osserveremo in generale che se gli scrittori filosofici di Roma progredirono poco nella carriera delle scoperte, alcuni dei più profondamente dotti fra loro sono stati tuttavia dei primi ad accorgersi della vanità dei sistemi artificiali dei loro tempi, ed hanno espresso i sentimenti più filosofici intorno ai difetti presenti ed alle future speranze della scienza quale allora esisteva. Così Seneca alludendo al soggetto delle comete ed osservando quanta fosse l'ignoranza della loro natura e dei loro movimenti, soggiunge: — « *Veniet tempus, quo ista quae nunc latent in lucem dies extrahat, et longioris aevi diligentia: ad inquisitionem tantorum aetas una non sufficit. Veniet tempus, quo posteri nostri tam aperta nos nescisse mirentur* (1). — Verrà tempo in cui l'avvenire e la diligenza delle

(1) Quaest. Nat. VII. 25.

età lontane trarranno alla luce queste cose che adesso sono nascoste: una età non basta all' inquisizione di tanti oggetti. Verrà tempo che i posteri si maraviglieranno dell' ignoranza nostra di cose così patenti ».

E Cicerone quasi prevedesse il trionfo della filosofia induttiva, enfaticamente esclama: — « *Opinionum commenta delet dies; naturae iudicia confirmat.* — Il tempo cancella i comenti delle opinioni, ma conferma ciò che è fondato sulle testimonianze della natura ».

Seconda scuola di Alessandria

Dopo che l'Egitto fu divenuto provincia dell'impero romano, la città di Alessandria continuò ad essere l'asilo prediletto delle scienze, e sebbene da lunga pezza l'alta fama della sua scuola fosse decaduta, tuttavia non mancarono uomini che continuarono a coltivarvi varie parti della letteratura. Più tardi sotto l'impero degli Antonini, cominciando dall'anno 140 E. V., e specialmente sotto il governo del filosofo Marco Aurelio Antonino, un notevole risorgimento della scienza si mostrò sullo stesso teatro dov' essa aveva prima trionfato. Una nuova costellazione di grandi ingegni cominciò a sorgere; e quantunque nè per numero, nè per eminenza fossero da mettersi in paragone coi loro predecessori di un'altra età, tuttavia la *seconda scuola di Alessandria* produsse parecchi filosofi di considerevol merito, ed alcune opere che sostengono con onore la loro riputazione.

Tolomeo, e suo sistema

Claudio Ptolomeo, nato a Ptolemaide in Egitto, comunemente conosciuto sotto il nome di Tolomeo, fiorì in Alessandria verso l'anno 140 E. V. Egli risvegliò in quella scuola la coltivazione dell'astronomia, che vi era stata quasi intieramente sopita per tre secoli dai tempi d'Ipparco. Animato dall'ambizione di tornare la scienza alla sua giusta estimazione, e di perfezionare ciò che i suoi predecessori avevano lasciato imperfetto, egli sentì la necessità di raccogliere i materiali esistenti nelle opere d'Ipparco e di altri in un sistema regolare, combinando con questi le sue proprie investigazioni, in modo da formare un corpo compiuto di astronomia. Questo diede origine alla sua grand'opera intitolata Μεγαλη Συνταξις (gran sistema), la cui pubblicazione forma un'epoca nella storia della scienza. Quest'opera divenendo nota in tutto l'Oriente, vi fu conservata, e sopravvisse alla barbarie dei tempi di mezzo. Essa formò la base della astronomia degli Arabi, e per un tempo considerevole, di quella dell'Europa moderna; dai primi ebbe il titolo di *Almagesto*, sotto il quale fu poscia conosciuta in Europa.

Vasto com'era il disegno, ed elaborata l'esecuzione dell'opera, essa ha un difetto capitale, — quello di aver seguito quel sistema del mondo che fa centro la terra, e suppone che il sole e i pianeti girino intorno ad essa. Abbiamo già osservato che vi era poco, parlando di vero argomento derivato dai fatti, che potesse determinare il giudizio degli antichi astronomi su questo punto; tuttavia è difficile il concepire che gli argomenti tratti dalla probabilità, dall'analogia e dalla

semplicità, non abbiano preponderato presso tutti coloro che erano in qualche parte imbevuti di spirito filosofico.

Tolomeo tuttavia impugnò il sistema solare. Egli rinnovò la già combattuta obbiezione della parallasse; e ragionò sulle false e gratuite teorie dei Peripatetici intorno al moto; sostenendo che se la terra veramente si muovesse, dovrebbe lasciar addietro tutti i corpi staccati che sono sulla sua superficie, i quali (giusta la loro teoria) essendo più leggieri, si debbono muovere più lentamente. Questo e molti altri argomenti di eguale assurdità furono da lui addotti, quantunque ammettesse che il sistema Pitagorico presenta una semplicità molto maggiore.

Abbiamo già altra fiata fatto menzione della teoria degli epicicli inventata per render ragione dei movimenti planetari; essi furono ricevuti da Tolomeo in tutta la loro estensione. Alcuni scrittori hanno preteso che nel riceverli Tolomeo intendesse semplicemente di fare una costruzione matematica la quale potesse convenientemente rappresentare i fatti; ma ciò sembrerebbe appena conciliabile coll'impegno che spiega difendendo quel sistema fisico dei pianeti, e la dottrina Aristotelica del moto, che rendevano gli epicicli necessari. Le sue proprie espressioni, colle quali quest'idea è stata sostenuta, sono certamente lontane dall'essere conchiudenti nè per l'una nè per l'altra parte. Egli parla meramente dell'ipotesi come quella che può « *salvare* i fenomeni » — così esprimendosi per quanto si può tradurre *letteralmente* il greco nel nostro idioma. È certo che i suoi seguaci delle età seguenti erano persuasi che questi erano i movimenti *reali* dei pianeti; come pure credevano nella reale e sostanziale esistenza delle sfere cristalline, che Eudosso

aveva imaginato essere le cause dei movimenti celesti. Mæstlin, in particolare, ha un passo chiaro ed esplicito a questo effetto.

Checchè ne sia, le varie ineguaglianze che furono successivamente osservate nei movimenti planetari, diedero motivo a nuove applicazioni del medesimo principio. Ipparco (siccome abbiamo veduto) aveva scoperto un'ineguaglianza nel moto della luna. Tolomeo ne scoperse un'altra che variava secondo la distanza angolare della luna dal sole, e fu chiamata l'*evezione*. La prima fu spiegata dal movimento della luna in un epiciclo il cui deferente era l'orbita *media*. Ma per la seconda fu necessario di supporre ancora che il centro di questo deferente si muoveva nuovamente in un altro circolo. Dell'enorme e crescente complicazione di un tale sistema, provegnente dall'estensione di questo principio a tutte le orbite planetarie, come pure alle vere ineguaglianze del sole e della luna, non occorre di dir altro. Esso dovette alla facilità che procurava nel calcolo, l'essere stato generalmente seguito. Conservandosi in tutto il principio del moto circolare, le costruzioni geometriche e i computi aritmetici che ne erano la conseguenza, non furono mai gran fatto difficili; e l'accuratezza dei risultamenti era bastevole per gli oggetti dell'astronomia di quei tempi. Il sistema fu adunque accolto dagli astronomi come conveniente nella pratica, quand'anche fossero stati propensi a dubitare della sua verità fisica. Ciò non di meno il concepire che il mondo planetario compia i suoi movimenti coll'aiuto di un simile meccanismo, debb'essere stato uno sforzo considerevole anche alla più potente imaginazione. Ci potremo fare un'idea della difficoltà di supererogazione che ne nasce, se, passando in una

foresta, osserveremo in che maniera complicatissima le posizioni relative degli alberi appaiano cambiare continuamente ad ogni passo; e se considereremo la difficoltà che vi sarebbe a rintracciare le leggi dei loro moti apparenti, quando volessimo riferire questi cambiamenti ad un vero movimento degli alberi invece di attribuirli a quello del viaggiatore. Per compiere tuttavia quest' illustrazione, dobbiamo imaginarci inoltre quale sarebbe l'ognor crescente complessità, se ciascuno degli alberi avesse un vero moto suo proprio, oltre ai moti apparenti risultanti da quello dell' osservatore, che è il vero caso relativamente ai pianeti e alla terra.

Tale era tuttavia il sistema Tolemaico, che regnò per una più lunga serie di secoli, e sopra una maggior parte del mondo, che alcun altro. Complicazione mostruosa d' ipotesi puramente gratuite, le quali per dar ragione d' ogni nuova ineguaglianza dovevano accrescere le loro intricatezze, e per iscioglíere ogni novella difficoltà venivano ad avvolgersi in una più disperata confusione; cosicchè i suoi fautori tiravano innanzi, secondo il linguaggio del poeta, — per *salvare*

« Vane apparenze, a circondar la sfera
Di centrici e di eccentrici infiniti,
Ciclo sovr' epiciclo, orbe dentr' orbe ».

E tutta questa complessità s' incorreva non per altro se non per mantenere il gran domma, che « movimenti uniformi appartengono per loro natura ai corpi celesti »; e il sublime principio che « il moto circolare è perfetto e incorruttibile ». Tuttavia tale era il sistema non solamente ricevuto in quell' età dai contemporanei e dai seguaci di Tolomeo, ma che durò nella moderna Europa

sino ad un periodo comparativamente recente, e fu mantenuto con ostinazione finchè, nella crescente luce della verità induttiva, vi rimase un angolo oscuro in cui i suoi partigiani poterono trovare un rifugio nelle amate loro tenebre.

Degli strumenti comunemente impiegati dagli antichi astronomi, il gnomone era ad un tempo il più semplice, e probabilmente il più accurato per l'oggetto cui si riferiva. Oltre a ciò troviamo che, particolarmente in questi ultimi secoli, facevano uso di astrolabi e di sfere armillari di varie costruzioni, le quali essendo fissate coi loro circoli nella giusta posizione della sfera reale, gli equinozi erano osservati per mezzo della coincidenza del piano del circolo rappresentante l'equatore con la sua propria ombra. Le altezze erano misurate per via di un circolo nel piano del meridiano, e dell'ombra di un picciol indice sporgente all'estremità di un diametro girante, che si faceva cadere esattamente su di uno sporgimento corrispondente all'altra sua estremità. Tolomeo stesso inventò un quadrante con un simile apparecchio. Faceva pur uso di uno stromento di principio simile, ma le cui parti erano tutte rettilinee; così misurava la *corda* dell'angolo osservato; e trovava l'angolo per via di una tavola di corde. Il gran difetto in tutti questi stromenti era la mancanza di certezza nel trovare la precisa posizione di un oggetto celeste, cui non si poteva rimediare senza una conoscenza del telescopio. Probabilmente la loro graduazione era pure di un picciolissimo grado di accuratezza. Un altro difetto fondamentale nei loro osservatorii consisteva nella mancanza di mezzi precisi di misurare il tempo. La clessidra era manifestamente imperfetta. In generale, è più da maravigliarsi che

nella parte dell'osservazione gli antichi abbiano fatto tanto, considerando i mezzi limitati che avevano a loro disposizione, che da stupirsi che non abbiano fatto di più.

Ottica

Gli studi di Tolomeo non erano limitati all'astronomia. Scrisse un trattato di ottica; il primo in cui si sia accuratamente investigato il soggetto della refrazione. Questo trattato, quantunque noto nel medio evo, e citato da Rogero Bacone, era sparito e si supponeva assolutamente perduto, quando recentemente una copia (evidentemente una traduzione dall'arabo) fu trovata nella biblioteca reale a Parigi. Un'altra ne esiste pure nella Saviliana di Oxford.

Tolomeo, mosso senza dubbio dalla necessità che sentiva come astronomo, di avere una cognizione più esatta della refrazione atmosferica, per l'effetto che ha sui luoghi occupati dai corpi celesti, esaminò con gran cura e precisione gli angoli di refrazione corrispondenti a tutti gli angoli d'incidenza da 0 a 80 gradi, quando dall'aria un raggio passa in un *mezzo* di acqua, o di vetro. La teoria che ne trasse delle refrazioni astronomiche era anche più esatta che quella seguita da alcuni dei moderni. Sotto un punto di vista ottico, i suoi misuramenti s'accordano assai esattamente con la legge moderna dei seni, sebbene egli non venisse da quelli ad una tale generalizzazione.

Alcuni scrittori moderni (forse per qualche versione scorretta dell'opera di Tolomeo) gli attribuiscono la spiegazione del fatto, che il sole e la luna sull'orizzonte appaiono più larghi che al zenit, siccome dipen-

dente dalla circostanza che, nel primo caso, il nostro giudizio è soggetto ad errore pel paragone con oggetti terrestri. Delambre ha verificato che l'originale non dà alcuna spiegazione di questa fatta (che è senza dubbio la giusta), ma propone soltanto una teoria assai vaga. Questa dichiarazione è dunque probabilmente dovuta al suo traduttore arabo, e forse è ricavata da Al-Hazen.

Tolomeo distingue ciò che è poscia stato chiamato *fuoco virtuale*, nella riflessione da specchi convessi, ovverò il punto nel quale i raggi riflessi, se fossero prolungati, s'incontrerebbero. E fra altri interessanti barlumi di verità, che non furono pienamente scoperte se non molti secoli dopo, egli tocca del fatto, che i colori sono confusi insieme per la rapidità del moto; e dà per esempio una ruota dipinta a diversi colori che sia fatta girare rapidamente.

Progresso delle Matematiche

Diofanto fiorì in Alessandria nei primi tempi dell'era cristiana: ma il tempo preciso è soggetto di questione. Lasciò un trattato in cui i principii di ciò che in fatto è l'algebra, sebbene non siano dati nella forma in cui s'insegna ora questa scienza, sono stabiliti con grande ingegno e sagacità in tredici libri intitolati « Questioni aritmetiche ». Alcuni dei problemi sono assai intricati, e v'ha molta destrezza nel proporli, in modo da produrre equazioni in una forma che involva soltanto una potenza della quantità incognita. Tutti i processi sono espressi in lingua ordinaria, assistita da pochissimi simboli, che sono mere abbreviazioni. Considerando di quanto poco potere e di qual picciolo uso fosse lo strumento ch'egli

adoperava, è cosa straordinaria il partito che ne seppe trarre. Egli rivolse particolarmente la sua attenzione alla classe di problemi detti indeterminati, o che ammettono più d'una soluzione; i quali furono poscia conosciuti sotto il nome di problemi Diofantini. Quantunque l'algebra non fosse ancora affatto ridotta ad una forma simbolica, è cosa notevole che Diofanto esprime distintamente la regola pei segni nella moltiplica, dicendo che, λειψις per λειψις dà ὑπαρξις, ecc., (*meno* per *meno* dà *più*).

Pappo — Decadenza della scienza antica

La decadente scienza del quarto secolo ebbe un valido sostegno in Pappo, uno degli ultimi filosofi che ornarono la scuola Alessandrina, il quale fiorì tra il 350 e il 400. Egli coltivò felicemente quasi tutte le parti della geometria, e in alcune di esse lasciò investigazioni di pregio considerevole.

Il soggetto dei *luoghi* fu uno di quelli cui la sua attenzione più specialmente si rivolse: in particolare considerò quel caso che era chiamato « *locus ad quatuor rectos* »; problema che resistè a tutta l'antica geometria, ma che divenne celebre per essere stato occasione di uno dei più gran trionfi dell'analisi moderna, ed ha menato alle più estese applicazioni, delle quali parleremo in appresso.

L'opera principale di Pappo sono le sue « *Collectiones Mathematicae* », in cui fra molte altre curiose discussioni si trova uno spazio considerevole consacrato allo stabilimento della dottrina dei massimi e dei minimi su basi geometriche, ed una sua singolare applicazione alle cellette delle pecchie. Questo comprendeva

in fatto la considerazione di una classe di problemi che, in un senso più esteso, sono poscia stati chiamati *isoperimetrici* (1). La natura di questi sarà fatta intelligibile per mezzo di un' illustrazione semplicissima. — Taglisi un circolo in una carta, e sia la lunghezza della sua circonferenza misurata e notata con un filo di spago avvolto attorno ad essa; taglinsi pure parecchie altre figure regolari, come sono un triangolo, un quadrato, un esagono ecc., in modo che siano, tagliandole, gradatamente ridotte a quelle dimensioni o perimetri che potranno essere misurati dallo stesso spago, e saranno così tutti esattamente della stessa lunghezza della circonferenza del circolo, badando che la perfetta regolarità della figura sia nel medesimo tempo accuratamente conservata. Fatto questo, sarà agevole il vedere, collocando successivamente le figure l'una sull'altra, che, quantunque le lunghezze dei loro perimetri siano affatto le stesse, tuttavia le loro aree saranno di un'estensione palpabilmente diversa.

L'investigare questi punti con raziocinio matematico è cosa alquanto difficile, ma il soggetto fu trattato da Pappo con gran successo in più d'un caso. Si trova (e può essere agevolmente dimostrato col sovra riferito metodo d' illustrazione) che di tutte le figure che hanno un medesimo perimetro, quella avrà la maggior area la quale ha un maggior numero di lati. Quindi il circolo, essendo riguardato come un poligono di un numero di lati *infinito*, inchiuderà la maggior area di tutti i poligoni *isoperimetrici*. Queste considerazioni si applicano egualmente ai solidi ed alle loro superficie.

La forma che hanno le cellette dei favi appare con-

(1) Da ισος, eguale; περιμετρο, circonferenza.

formarsi alle deduzioni della geometria su principii che in questo hanno il loro fondamento, ma ai quali si debbono aggiungere parecchie altre considerazioni. Le sole figure che, poste insieme, non lasciano interstizi, sono i triangoli equilateri, i quadrati e gli esagoni: di questi, gli ultimi contengono la maggior area con la medesima circonferenza. Quindi nel formare celle contigue vi è un risparmio di materiali scegliendo la forma esagona. Il modo di terminare le celle è la parte più curiosa dell'opera. Geometricamente si godrebbe dei medesimi vantaggi se terminassero in piramidi triangolari, formate da piani secanti ogni angolo solido alterno della cella esagona, ed inclinati ad un certo angolo che si trova col calcolo. Queste condizioni si trovarono perfettamente riempiute prendendo la media di un gran numero di misuramenti delle attuali celle dei favi.

Questa parte dell'opera di Pappo ci è pervenuta in uno stato imperfetto, ma è stata ristaurata da Maclaurin. Pappo esprime energicamente la sua ammirazione a questo fatto singolare nell'economia della pecchia, esclamando:— « Κατά τινα γεωμετρικὴν μηχανῶνται πρόνοιαν. — Esse lavorano con una specie di previdenza geometrica ».

Nel quarto suo libro Pappo discute alcuni punti connessi con la quadratura del circolo, e descrive alcune delle invenzioni fatte da geometri precedenti nelle loro ricerche dirette a quest'oggetto. Una delle più notevoli forse è la costruzione di una curva chiamata *quadratrix*, ossia linea quadratrice, inventata da Dinostrato e da Nicomede, di cui dà una dimostrazione; e per cui la lunghezza dell'arco circolare è determinata: ma la sua applicazione involve il principio dei limiti,

e non è perciò di gran giovamento alla questione. Tuttavia essa offre alcune bellissime specolazioni geometriche.

Le fatiche di questo gran geometra si estesero a molti altri soggetti nei quali non possiamo qui entrare. Nelle sue specolazioni meccaniche fu meno felice: egli applica con effetto considerevole la geometria a molte questioni di questa scienza; ma nell'investigazione del piano inclinato, mostra una nozione erronea della risoluzione delle forze, che rende difettiva la sua estimazione della forza necessaria a sostenere un corpo sul piano. Questo difetto di cognizione di un principio così essenziale, segna un punto oltre il quale la meccanica antica non progredì, e che ha dovuto impedire un ulteriore progresso.

Teone e Proclo, verso lo stesso periodo, o forse più tardi, furono conosciuti principalmente come commentatori di Euclide. Al primo non siamo gran fatto tenuti pel suo tentativo di migliorare il suo autore; il secondo scrisse pure un trattato sul moto.

Diocle, il quale visse prima del 500, è conosciuto come inventore di una bella curva detta cissoide, alla quale fu condotto da una costruzione anteriore di Pappo per trovare due medie proporzionali fra dati estremi. Questa curva è il *luogo* tracciato dall'intersezione di una corda da un'estremità del diametro di un semicircolo tratta alla sommità di un'ordinata, con un'altra ordinata equidistante dal centro. Una perpendicolare all'altra estremità del diametro diviene un assintoto alla curva, che fu chiamata cissoide (1) da una immaginata somiglianza ad un ramo d'ellera che s'ar-

(1) κισσός, ellera.

rampica su d'un muro, come la curva fa su del suo assintoto.

Nel veder alludere a questi soggetti astratti, a queste, per così dire, eleganti finzioni di un'imaginazione geometrica, nelle quali gli antichi matematici si dilettavano, si proporrà certamente la questione — a che cosa siano utili? — questione cui naturalmente non si potrà rispondere se non quando l'oppositore determinerà la classe di oggetti sino alla quale si vuol estendere il carattere di utilità. Questi metodi non sono più in uso per alcun pratico risultamento, perchè adesso ne possediamo altri più facili e più brevi. Ma che simili materie di contemplazione astratta non siano utili, è un'asserzione che apertamente mostra la strettezza delle nozioni di colui che la mette innanzi, e sarà appena sostenuta da alcuno che abbia acquistata una giusta idea dell'importanza relativa delle diverse parti di specolazione filosofica, e l'intima connessione e la dipendenza che fra di esse esiste. E che, di queste specolazioni astratte, quelle relative alle singolari proprietà delle curve nascenti come logiche conseguenze dalle più semplici costruzioni, siano fra le più belle, è cosa che dipende dal gusto, la giustezza del quale non può essere riconosciuta se non dal convincimento di coloro che faranno gli studi necessari per mettersi in grado di giudicare.

Il quinto secolo dell'era cristiana vide la quasi totale estinzione delle scienze in Alessandria. Trovavansi, è vero, alcuni pochi studiosi che continuavano a tener viva la memoria delle glorie di un'età passata. Ma le circostanze dei tempi non erano favorevoli all'estensione delle fisiche indagini, e finalmente l'invasione dei Saraceni, e la deliberata distruzione di quel

gran deposito in cui i tesori della letteratura si erano accumulati per nove secoli in Alessandria (l'anno 640), diede il colpo fatale, cui si vuol riferire l'estinzione della greca filosofia.

Abbiamo già veduto che in Roma la poca inclinazione che si ebbe per le scienze fisiche era già da lungo tempo andata anch' essa scemando. Gli scritti dei filosofi erano esclusivamente composti in lingua greca. La gran divisione dell'impero sotto i figliuoli di Teodosio segnò una si ampia linea di separazione fra la parte orientale e l'occidentale di esso, che la greca letteratura non fu più coltivata a Roma. Così le memorie scritte della scienza cessarono di essere accessibili alle nazioni dell'Occidente, mentre le turbolenze cui questa parte dell'impero andò soggetta, le continue guerre e le invasioni delle tribù gotiche ne' suoi ultimi secoli, si opposero ad ogni tentativo di far sorgere una messe indigena di scienza, quand' anche i suoi germi si fossero trovati nell'indole del popolo.

Osservazioni generali sul progresso e sul carattere della scienza antica

Quantunque nel corso delle precedenti pagine abbiamo di tratto in tratto fatto osservazioni incidentali sulle cause che hanno influito sul progresso della scienza presso gli antichi, non sarà tuttavia superfluo, nel conchiudere questa parte del nostro soggetto, di ricapitolare brevemente e di aggiungere alcune osservazioni generali su tali cause, sullo spirito e sull' indole degli antichi metodi, e sulla loro influenza nella vera interpretazione della natura.

Se consideriamo l'uomo come un essere dotato delle facoltà dell'osservazione e della ragione, e specialmente come fatto per ricevere le cognizioni per mezzo dei sensi esterni, sembrerebbe che l'esame della natura e l'investigazione delle leggi che governano i suoi fenomeni, avrebbero dovuto naturalmente e necessariamente formare un oggetto della sua prima attenzione, e tale da darvisi in generale una speciale importanza. Tuttavia abbiamo osservato che la cosa accadde assai diversamente; e nel seguire il corso del graduale progresso della civilizzazione morale e fisica, siamo stati costretti a riconoscere che, in questa gran parte del miglioramento intellettuale, si è progredito così tardi e ad un grado così limitato, anche nelle circostanze le più apparentemente favorevoli, che non sarà inutile l'accennare brevemente alcune delle cause che hanno probabilmente avuto parte nel produrre quest' effetto.

Nei primi tempi della società, e per una gran parte del genere umano, in ogni tempo, vi sono altri e più urgenti bisogni da soddisfare prima di quelli della mente. Ma supponendo che siamo giunti a un punto al di là di questo stato di cose, e che si goda della voluta libertà dall'immediata molestia del bisogno, molto si richiede ancora prima che la particolare contemplazione della natura, coll'idea di scoprirne l'ordine e l'armonia, s'impadronisca della mente. Alcuni pochi forse sono irresistibilmente tratti da un più sublime disegno a consecrare la loro attenzione a quelle cose che gli altri disprezzano. Ma in generale, anche nelle circostanze più favorevoli, molte cause fanno sì che il progresso verso i veri principii della scienza sia lentissimo. Il primo e principale ostacolo è la man-

canza di percezione del pregio e dell' importanza di fare indagini esatte nella natura, od anche di contemplare il mondo materiale sotto un altro aspetto che come semplice soggetto di passeggera ammirazione, o in generale come sorgente di novelli fisici diletti. Questo difetto di una debita ricognizione del merito di una pura investigazione filosofica, fatta astrazione dell'esame del mondo naturale per motivi d'arte o di guadagno, è stato ed è ancora il primo grande ostacolo ad una più gran diffusione dell'amore di questi studi e della loro coltivazione. Infatti, così lentamente e così di rado si diffonde il convincimento dell' intrinseca eccellenza delle investigazioni astratte, che nell'osservare l'incremento dell'umana società, quando emerge dalla barbara condizione della vita selvaggia e prende le sue giuste e belle proporzioni, ogniqualvolta troviamo che vi si professa una debita estimazione del pregio di ricercare il vero per se stesso, non possiamo dubitare di connettervi l'idea ch'essa sia giunta ad un grado non ordinario di vero incivilimento morale. Anche allorquando un uomo di genio ha aperta la strada, si richiede ordinariamente il corso dei secoli, e una ripetizione di così splendidi esempi, prima che un simile spirito sia diffuso nell'universalità del genere umano.

Oltrecciò, a malgrado della migliore disposizione, la vastità e la varietà degli oggetti che da tutte le parti sollecitano la nostra attenzione, divaga la contemplazione più che non favorisca la concentrazione delle facoltà sulle diverse parti, per cui la conoscenza graduale del tutto può solamente esser promossa.

« L'uomo (osserva il professore Playfair) non poteva al principio vedere da che punto dovesse cominciare

le sue ricerche, in che direzione le avesse a proseguire, nè con che regole si dovesse governare. Egli era come un viaggiatore che intraprende di esplorare un vasto e sconosciuto deserto, in cui si presenta da ogni parte una moltitudine di oggetti grandi e curiosi, mentre non v'è sentiero che possa seguire, nè regola che diriga la sua esplorazione (1) ».

Ma in mezzo a tutta questa quantità di oggetti diversi, lo sceglier quelli cui si ha a rivolgere l'attenzione può appena essere soggetto di deliberazione. La mente sarà sempre più fortemente eccitata da quei fenomeni che sono rari, subitanei ed imponenti; e la nostra curiosità non si sveglierà per quelli da cui siamo giornalmente circondati. Quindi allorchè le cognizioni sono ancora nell'infanzia, lo sfolgoreggiare di una meteora, lo scoppio del tuono, o l'eruzione di un vulcano, sono le prime cause di terrore e di maraviglia; ma il cadere di un sasso a terra, o la vista dell'aspetto della natura non eccitano ammirazione. La sorpresa alla fine dà luogo alla curiosità; e questa parimente è sempre diretta in sulle prime a ricercare le cause dei più maravigliosi piuttosto che quelle dei più comuni avvenimenti; poco riflettendosi che dalle cause di questi soli possiamo, ragionando, ricavare quelle dei primi. Tuttavia, quantunque volte la curiosità è eccitata, vi è sempre una speranza che tosto o tardi l'investigazione razionale terrà dietro; poichè, al dire del poeta, —

(1) Dissertazione sul progresso della scienza p. 56.

« La maraviglia
Dell'ignoranza è figlia,
E madre del saper ».

Ma siccome il terrore e la maraviglia sono le prime potenti emozioni in noi prodotte dai gran fenomeni del mondo naturale, egli accade pur troppo frequentemente che da questa sorgente nasca uno spirito assai diverso da quello di una curiosità naturale — quello cioè della superstizione. E forse di tutte le cause che tendono a frenare lo spirito d'investigazione nelle leggi del mondo materiale, e nelle cause dei fenomeni fisici, non ve n'ha altra che sia di questa più potente o più estesa ne'suoi effetti. L'origine di quest'impressione sembra essere con molta forza spiegata nella frase incidentale di Plinio, che s'incontra in un passo già da noi citato: — « *Ausus rem etiam Deo improbam* »; — ed è l'idea di una prosunzione irreligiosa in chi tenta di penetrare i misteri della natura. Come se questi medesimi misteri non fossero indicazioni del divino potere; e l'impiego della nostra ragione nell'investigarli, non fosse un consacrare le nostre facoltà al più sublime oggetto per cui ne furono compartite.

Mentre poi la superstizione chiude la via alle investigazioni, essa è madre ad un tempo di miseri e perniciosi inganni, che quelle sarebbero il mezzo più efficace di poter bandire. Le impressioni che cotanto potentemente dominano le menti ineducate sono sempre (come abbiamo osservato) quelle prodotte dai più straordinari e sorprendenti fenomeni. Ma egli è col rintracciare con pazienza le somiglianze che esistono fra gli avvenimenti ordinari della natura e quegli accidenti apparentemente più maravigliosi che talvolta

si presentano, che si progredisce verso una conoscenza delle loro cause comuni, e verso una percezione di quell'infallibile *unità* di disegno ed *uniformità* di operazione le quali costituiscono la ferma base di un'idea razionale dell'*unica* e Gran Causa prima, e per conseguenza di ogni schietta religione. Ma la mente ignorante cedendo all'impressione momentanea, ordinariamente più di terrore che di ammirazione, prodotta dalla subita manifestazione di qualche raro fenomeno, presto si crea tutti i fantasmi di una cieca superstizione. Non ammaestrato a connettere cause reali ed effetti, colui che è dominato da questi errori, presto comincia a trovare supposte connessioni in circostanze affatto l'una dall'altra indipendenti. Uomini incapaci di comprendere l'effetto della luna sulle maree, erano fermamente persuasi dell'influenza delle stelle sulle loro fortune. Ascoltavano pieni di religioso spavento le risposte di un oracolo, adoravano le virtù salutifere di un amuleto, mentre non potevano udire le gran verità che la voce universale della natura loro proclama, nè riconoscere la mano divina nell'organizzazione degli esseri creati. Anzi queste medesime superstizioni proibivano loro l'investigare, e reprimevano in essi il desiderio, se pure lo nutrivano, d'innalzarsi a più sublimi e a più degne contemplazioni.

Quindi per formare il primo filosofo si richiedeva una combinazione singolarmente fortunata di disposizioni e di capacità; — una mente atta a conoscere il pregio delle indagini come tali; a prendere il miglior punto di vista dal quale potesse, per così dire, contemplare la vasta complessità degli oggetti presentati; ad assegnare a ciascuna classe di essi la sua giusta importanza, sia che fossero o non fossero imponenti a prima

vista; e finalmente a scoprire almeno alcune delle principali analogie e relazioni esistenti fra di loro. Certo non si possono ragionevolmente aspettare tutte queste cose in un solo individuo, anche quando la scienza è maggiormente inoltrata, e molto meno quando è nella sua infanzia. Per verità, il più che si potrebbe sperare sarebbe che qualche astro spuntasse sull'orizzonte intellettuale, abbastanza potente per ispandere una luce generale, benchè modica, su tutta la regione da esplorarsi. Il far risaltare le diverse parti e i diversi oggetti in pieno rilievo, e l'investirli dei loro propri colori, debb'essere opera di luminari più numerosi e più risplendenti.

Talete, Pitagora ed altri che abbiamo nominati, furono precisamente questi forieri della scienza. Nelle loro scuole non erano certamente da pretendersi nè un sistema di osservazioni minute, nè esatti risultamenti sperimentali; e possiamo aggiungere che in quell'età della scienza queste cose non si richiedevano. Ciò di cui era mestieri, era la potenza di una mente maestra che comunicasse alcuni grandi ed estesi principii, e desse una giusta direzione alla contemplazione filosofica; che indicasse quali erano i suoi propri oggetti, e quale il limite ragionevole cui si poteva sperare di spingere le sue ricerche; e così fissasse il vero tuono e il vero spirito dal suo carattere. È cosa ovvia il supporre che il mondo debbe avere esistito, e la società umana progredito per molti secoli, prima che siffatti uomini apparissero.

Il gran merito di quei valent'uomini fu che senza i soccorsi di sperimenti e valendosi soltanto in picciol grado delle rozze osservazioni dei loro predecessori, abbiano, per una specie d'intuizione ispirata, partorito quelle grandi concezioni di molte delle prin-

cipali analogie del mondo naturale, alle quali tutte le esatte indagini delle età seguenti hanno arrecato una sempre crescente dimostrazione. Queste fortunate combinazioni di carattere intellettuale sono tuttavia infinitamente rare nel corso dei secoli. E nulla può sorprender meno, quantunque sia cosa da lamentarsi, che quelle alte concezioni fossero abbandonate dai filosofi posteriori.

Presto si mostrò una disposizione verso il sublime ma capriccioso misticismo che cercò di connettere ogni cosa esistente in natura con qualche alto ed imaginario archetipo supposto esistere in un altro mondo intellettuale, dal quale emanavano l'essenza dell'unità, dell' ordine e dell'armonia. Finchè questa specie di specolazione fu limitata alla sua elevata regione, e il filosofo, che vi prendeva diletto, non permetteva che s'intromettesse nella provincia dell'osservazione fisica, o nell' esattezza della dimostrazione matematica, essa non impedì il progresso della verità fisica; fors'anche esercitò una salutare influenza, procurando di tenerla lontana dagli oggetti e dalle occupazioni di un genere puramente meccanico. Tale noi stimiamo che fosse l'indole della scuola di Platone. Il male prodotto da un tale principio fu piuttosto quello di allontanare l'uomo dal più laborioso studio dei fatti col fascino del suo eloquente misticismo, che di pervertire il corso delle fisiche inquisizioni, o di corrompere i loro metodi con fallacie tecniche. Esso era troppo avvolto nelle regioni del mistero per discendere a ricerche solamente connesse col mondo della materia.

La classificazione degli oggetti innumerevoli che ci si presentano allo sguardo, è un passo indispensabile per mettere la mente in istato d'intraprenderne in qualche modo l'esame. Così le specie, i generi e gli ordini

divengono gli oggetti fissi e permanenti del sapere, quantunque gl'individui siano soggetti a un cambiamento perpetuo. Con questo sforzo di astrazione mentale, l'uomo produce, per così dire, dentro di sè una nuova creazione intellettuale, e quest'opera, per grande ed astrusa che possa forse apparire, è tuttavia nel fatto più o meno connessa coi più comuni paragoni delle cose e coll'uso degli stessi termini di cui il linguaggio incivilito è composto. [Sonvi rami d'investigazione di un'origine perfettamente astratta ed intellettuale, quali sono le matematiche pure; ve ne sono altri che essenzialmente non richieggono se non uno o due principii o dati semplici ricavati dalla nostra sperienza, su cui, senz'aiuto estraneo, professano di costruire un sistema, come la logica e l'etica: e in queste l'operazione della classificazione comincia dai primi principii ricevuti, e discende a casi individuali e a fatti particolari. In altri rami al contrario, che prendono origine nell'osservazione e nella collezione di fatti, la classificazione comincia dal paragone di questi, e debbe essere intieramente guidata dalla natura delle loro diverse varietà che imprende a conoscere; e da questi ascende ai fatti più generali ed alle leggi più comprensive.

Il principio dirigente della filosofia Aristotelica era precisamente quello della prima di queste due classi. Quindi nella sua propria e legittima provincia, pervenne nelle mani del suo gran fondatore alla più alta perfezione; e le forme sistematiche che diede alla logica dialettica, o alla teoria delle conclusioni, all'etica, o alla teoria della morale, siccome dedotta da certi alti e primi principii della natura del bene morale, e ad altri soggetti ammettenti lo stesso modo d'investiga-

zione, — hanno fino ai tempi presenti eccitato l'ammirazione di tutti coloro che sono capaci di apprezzarle; ed hanno conservato la loro preminenza in mezzo a tutti i vantati miglioramenti delle età susseguenti.

Ma gli stessi principii erano affatto inapplicabili alle fisiche investigazioni; la stessa circostanza che dava loro un valor particolare nella scienza morale, li rendeva apertamente tali, e l'errore principale della fisica Aristotelica, fu precisamente quello di non badare a questa distinzione. La mente del gran filosofo era così fatta per le pure astrazioni, che non poteva procedere su di alcun altro modello nel fabbricare il suo sistema della natura. Non era già, come si è spesso inesattamente allegato, che trascurasse di raccoglier fatti, poichè era in ciò fare diligentissimo; ma non considerava che la collezione de' fatti avesse una relazione a quella scientifica classificazione d'idee che aveva posto per fondamento a tutte le sue teorie. Quindi ci presenta una massa di posizioni di fatti, più o meno correttamente determinati, e di fenomeni naturali osservati con maggiore o minore accuratezza, ma questi non hanno corrispondenza coi principii astratti che pone per base del suo raziocinio.

Prendansi per esempio le sue definizioni (se pure possono chiamarsi tali), del moto e della luce. « Il moto è l'atto di essere in potenza, in quanto è in potenza» e « la luce è l'atto o l'energia di un corpo trasparente, in quanto è trasparente.» (1) Vale a dire, egli si fece prima ad

(1) A maggior soddisfazione del lettore riferiremo qui queste due definizioni quali si trovano nell'antica traduzione latina, pel caso che riuscissero più intelligibili.

« Actus, eius quod est potentià, ut est tale, motus est. — Lumen autem est actus huiusce perspicui, ea nimirum ratione qua perspicuum est ». N. T.

assumere l'idea del corpo o dell'essere, poscia quella dell' atto o dell'energia: le cose, secondo lui, volevano essere considerate o come in atto od energia, ovvero in capacità o potere: il moto adunque veniva ad essere il caratteristico peculiare del corpo considerato come in energia; e la luce (che, siccome abbiamo già osservato, egli riguardava come non materiale, ma qual risultamento di una specie d'impulso), era quella specie di energia che è caratteristica della trasparenza.

Con questa maniera di sistematizzare da distinzioni metafisiche e da uno stabilimento primario di alcune vaghe generalità, quali sono la ripugnanza della natura ad ogni movimento, fuori di quelli che sono naturali, la perfezione astratta del moto circolare ecc., fu costrutta tutta la teoria del sistema peripatetico, e nel tentare di metter la natura d'accordo con questi principii imaginari, si credeva consistere la vera filosofia.

L'irregolarità e la confusione apparente che a primo tratto sembrano regnare nei molteplici fenomeni della natura, e rendere inutile ogni tentativo di analizzarli con qualche ordine, debbe senza dubbio essere stata una delle circostanze più scoraggianti che accompagnarono i primi sforzi d'investigare le leggi del mondo materiale. La filosofia Aristotelica tendeva ad accrescere la difficoltà, col rappresentare ogni cosa essere piena d'irregolarità e di confusione, e i principii del calore e del freddo, dell'umido e del secco come in uno stato di guerra perpetua; così il movimento dei corpi sulla superficie della terra era considerato essere di una natura essenzialmente diversa da quello dei corpi celesti, per cui ogni tentativo di richiamarli a leggi comuni era supposto essere inutile. Forse si potrà giustamente dubitare se questa parte del sistema non sia

veramente consentanea ai veri principii della filosofia induttiva, poichè certamente non siamo autorizzati a supporre l'esistenza dell'ordine e della connessione, finchè non ne abbiamo almeno scoperta qualche indicazione; nè potevano i movimenti celesti e terrestri aver dritto di essere classificati insieme, finchè non avevamo qualche motivo sperimentale di fare altrimenti; essi dovevano essere considerati come cose «sui generis», finchè si potesse dimostrare che si riferivano ad un genere comune.

Presso gli antichi pertanto v'era difetto nel potere di scoprire le relazioni di una classe di fatti con un'altra, e questo non si poteva conseguire, se non con un grand'uso dell'*osservazione* per una parte, in tutti quei casi che si presentavano fuori dei limiti della nostra influenza; e dall'altra col fare accuratamente ripetizioni e nuove combinazioni, in una parola, *sperimenti*, in tutti quelli che da noi dipendono.

Ora, abbiamo veduto che in molte parti dell'osservazione, gli antichi non solamente non erano trascurati, ma eminentemente diligenti e felici: certe classi di fatti, adunque, essi poterono scrutarle con accuratezza, ma non giunsero a vederne le relazioni con altri. Questo fu senza dubbio, almeno in parte, cagionato dall'imperfezione del loro metodo d'osservazione, e dalla quasi totale assenza di sperimenti. È notevolissimo il contrasto fra la loro astronomia e la loro dinamica, fra l'elaborata diligenza con cui determinarono i movimenti dei corpi celesti e la loro assoluta trascuranza di esame per rispetto a quelli che sono sulla superficie del globo. Nel primo caso essi fecero esattissime osservazioni, nel secondo furono contenti di notare una picciola parte dei fatti, e d'imaginare il

rimanente, e conobbero precisamente quanto bastava delle circostanze per essere indotti in errore. Assiduamente veglianti pei movimenti del cielo, sonnecchiavano su quelli dei corpi della terra.

Il primo caso era soggetto di *osservazioni*, quindi fu felicemente dilucidato, almeno per quanto si stendevano il loro potere e i loro mezzi di osservare: nè mancavano altre classi di fatti, anche sulla superficie della terra, cui l'osservazione era applicabile, e ch'essi conseguentemente osservarono.

In generale essi notarono i fatti che si offerivano da sè stessi, ed alcuni di questi li ridussero pure sotto il dominio della dimostrazione geometrica, ma non tentarono di fare nuove combinazioni, e così di rintracciare le cause per nuove modificazioni dei fenomeni: in una parola, fecero *osservazioni*, ma non *sperimenti*; accolsero le notizie che la natura spontaneamente somministrava, ma non l'interrogarono per ricavarne altre. Questo gl'impedì di scoprire le relazioni di una classe di fatti con un'altra, il che accadde particolarmente in ciò che riguarda la scienza del moto.

Il movimento dei corpi sulla superficie della terra, non poteva essere investigato senza sperimenti speciali instituiti espressamente. Nessun caso regolare dell'occorrenza di questo moto si presentava da se stesso per essere osservato e notato dall'osservatore; però le sue leggi rimasero compiutamente ignorate, e senza questo preliminare essenziale, non si poteva fare alcun passo per assimilare il moto terrestre col celeste. Ma nel parlare del difetto di ricerche sperimentali nella fisica antica, si debbe prima di tutto rammentare quanto fossero piccioli i mezzi che avevansi di mandarle ad effetto;

e si vuol riflettere che per le ricerche di questa natura si richiede assolutamente; che le *arti* siano già ad un certo grado innoltrate. Questa sola considerazione spiega in gran parte il picciolo progresso che gli antichi fecero in simili investigazioni.

Ma, oltre il semplice potere di fare sperimenti, debbe esistere un giusto modo di apprezzarne l'uso, ed una capacità di ragionare giustamente da essi. Ora, sotto questo aspetto, non mancano certamente esempi fra gli antichi, di filosofi che mostrarono avere un'idea esatta della natura e del pregio del raziocinio induttivo; e là dove si limitarono ad argomentare dai fatti, le loro conclusioni furono ordinariamente giuste. Forse non si avanzarono ad alcun'alta generalizzazione, ma le loro induzioni, sin dove si estesero, furono giuste e legittime. Sgraziatamente questi esempi furono soltanto un' eccezione. Se le poche investigazioni sperimentali fossero state la sola causa del poco progresso della fisica antica, e se gli antichi filosofi avessero tutti pienamente impiegato quei piccioli mezzi che possedevano, ci sarebbe toccato di vedere un quadro assai diverso dello stato della scienza naturale: invece che troveremo la causa più potente e più efficace di questo difetto essere riposta nella *falsa idea che prevaleva intorno all'intiera natura ed allo scopo delle ricerche fisiche.*

L'errore quasi universale sembra aver consistito in ciò che appena si riconosceva alcuna connessione fra i risultamenti osservati e la teoria filosofica. I confini tra la verità e la finzione, fra il fatto e l'ipotesi, paiono essere stati abitualmente oltrepassati senza censura od esitazione; o, per dir meglio, pare che queste distinzioni non siano mai state chiaramente segnate o comprese. I fatti non erano studiati coll'intenzione

di ricavarne teorie; nè le ipotesi erano costrutte ad oggetto di rappresentare i fatti. L'idea di una teoria filosofica credevasi involvere qualche cosa di affatto remoto da ogni connessione con la materia; come se fosse una legge emanata da un sublime principio individuale, cui s'imaginava che i modi di essere della grossolana materia dovevano conformarsi. I disputanti delle scuole s'ingannavano sull'*oggetto* e sullo *scopo* della filosofia naturale; essi miravano a mantenere certi principii metafisici, di una natura troppo astrusa, perchè le conclusioni fisiche, quantunque generalizzate, vi potessero arrivare. Tentavano di sostenere teorie troppo remote da ogni relazione con le regioni del senso e coll'ordine della natura, costituita quale si trova, perchè le deduzioni tratte da quelle sorgenti si potessero stabilire; quindi le loro specolazioni rimangono un monumento, da una parte, di concezioni chimeriche ma grandi non mai verificate, e dall'altra di tentativi imperfetti, i quali, se fossero stati proseguiti, avrebbero potuto concorrere alla formazione di un edifizio sostanziale di una natura assai più umile ma di maggiore utilità.

I sistemi delle scuole antiche furono intieramente congetturali, quantunque in alcuni casi fossero giusti; epperò la scienza non progredì insieme col tempo. Lo stato dell'opinione spesso non era solamente stazionario ma retrogrado. Le teorie più antiche erano spesso le migliori, i sogni di Democrito e di Anassagora erano i più giusti e più vicini al buon senso che quelli di Aristotile e di Tolomeo, ma erano tutti sogni egualmente. Perciò non v'era in essi sequenza, e le età posteriori non poterono profittare della sperienza delle precedenti. La venerazione che si sente per

l'antichità non ha relazione con questi soggetti, ed anche in quelle cose in cui vediamo essersi fatto un tentativo di fondare il sapere sull'esperienza, è tuttavia giusta la sentenza di Bacone: — «*Antiquitas saeculi iuventus mundi*»; vale a dire «Noi siamo più antichi di coloro che ci hanno preceduti». Le età più recenti hanno almeno avuto maggiore opportunità di profittare degli accumulati risultamenti dell'esperienza e delle osservazioni dei loro predecessori. Si badi bene che questo non si applica se non a quei rami di sapere che si fondano sull'osservazione. Quelli poi che, come le matematiche pure, sono propriamente materia di invenzione originale e di specolazione astratta, non hanno una così necessaria connessione coll'ordine del tempo; e in questi si vuol confessare che la maggior gloria degli antichi filosofi ha il suo fondamento (1).

(1) Su tutto questo soggetto rimandiamo i lettori al «Discorso preliminare sullo studio della Filosofia naturale, di sir J. Herschell».

PARTE SECONDA

PROGRESSI DELLA SCIENZA FISICA E MATEMATICA DAL MEDIO EVO AI TEMPI DI NEWTON

La decadenza e la dissoluzione dell'impero Romano furono un'epoca non più notevole nella storia civile e sociale del genere umano, che nella intellettuale. Abbiamo osservato come piena ed universale fosse la trascuranza in cui tutti gli studi filosofici e tutte le ricerche fisiche erano caduti, nell'ultima parte di quei secoli che sono assegnati alla storia antica. Qui adunque un periodo grande e ben definito segna una divisione corrispondente nella narrazione che abbiamo intrapresa; e per quanto concerne all'Europa, un lungo ed infelice intervallo di generale oscurità ed ignoranza venne a succedere, nel quale la luce di un miglioramento cominciò soltanto a spargere qualche tremolo ed incerto raggio intorno al decimo secolo. Intanto in Oriente i grandi avvenimenti di questo periodo furono accompagnati da una coltivazione almeno parziale della scienza; e benchè forse questa potrebbe essere riguardata come una continuazione della filosofia antica, preferiremo tuttavia di considerarla sotto questa divisione per la sua maggior connessione col moderno risorgimento.

Troveremo in questo periodo le seguenti opportune divisioni. — La prima comprenderà lo stato della scienza duranti i tempi di mezzo, e il suo primo risorgimento sino alla fine del decimoquinto secolo. La seconda inchiuderà il suo progresso nel secolo

seguente e comprenderà alcuni dei primi gran passi oltre la scienza degli antichi, fatti da moderne ricerche originali, nei tempi di Copernico e di Ticone Brahe. La terza abbraccerà la grandi scoperte di Keplero e di Galileo. La quarta finalmente sarà occupata dalla filosofia Baconiana e dalle ricerche della crescente falange di filosofi, i quali, per così dire, prepararono la strada a Newton nel principio e alla metà del secolo decimosettimo.

SEZIONE I

Scienza del Medio Evo e sua prima rinnovazione, sino al finire del decimoquinto secolo

Scienza in Oriente durante il Medio Evo

Durante il periodo dell'estinzione della scienza nell' impero Romano, le varie parti delle conoscenze naturali e matematiche che da lungo tempo erano state coltivate nelle regioni orientali, quantunque non fossero intieramente perdute o neglette, non fecero tuttavia progresso, essendo particolarmente professate da persone di poca dottrina e come sussidiarie alle arti dell'astrologia e dell'alchimia. Tuttavia appunto nel momento che la scienza era giunta in Europa al suo più basso grado, essa fece un passo considerevole in Oriente. Gli Arabi avevano in ogni tempo mostrato qualche inclinazione agli studi astronomici e matematici, e quando le loro tribù guerriere ebbero spinto le loro conquiste su di un' ampia parte di quelle regioni, e stabilito finalmente l'impero Arabo in Oriente,

il trono fu occupato da una serie di principi che protessero ed incoraggiarono il sapere. Le loro conquiste li resero possessori delle opere dei filosofi greci che tenevano in gran venerazione, e che furono voltate nella loro lingua. Con questi soccorsi e coi mezzi scientifici che già possedevano, i filosofi Arabi si diedero con maggior attenzione a coltivare le scienze matematiche e specialmente l'astronomia. Questi studi cominciarono a prevalere nei tempi dei Califfi Al-Mansur e Harun-al-Rascid un po' prima dell'800, e giunsero al loro più alto grado sotto Al-Mamun, tosto dopo quel periodo. Quest'ultimo sovrano ordinò un novello misuramento della lunghezza di un grado, che si dice si operasse nelle pianure della Mesopotamia; ma il risultamento n' è perduto per noi, per l'incertezza della specie di misura impiegata. La grand'opera di Tolomeo fu pure tradotta in lingua araba per suo comando, sotto il titolo di Almagesto (anno 827).

I due secoli che seguono quest'era furono fecondi in astronomi, i quali particolarmente si dedicarono ad osservazioni accurate. Le memorie dei loro lavori sono assai voluminose. Fra questi Albategni (Al-Batani) scoprì il movimento del punto dell'apogeo del sole. Egli corresse pure la determinazione di Tolomeo della precessione degli equinozi.

Ebn Iunes fece le sue osservazioni al Cairo verso il 1000. Appare che circa questo tempo gli astronomi arabi fossero istrutti delle proprietà del pendolo, e lo impiegassero nelle loro osservazioni come misura del tempo.

Nella trigonometria i matematici arabi certamente introdussero qualche miglioramento. Il maggiore forse fu la sostituzione del seno nei loro calcoli alla corda

usata dai Greci. Abul Wefa costrusse tavole di tangenti e cotangenti intorno al 1000. Pare che non facessero uso del cosseno se non un secolo più tardi, tempo in cui Geber, spagnuolo maomettano, dà una formola in cui lo vediamo entrare.

È cosa veramente sorprendente che questi miglioramenti così ovvii in apparenza non siano stati introdotti prima, e che il genio specolativo della geometria greca, anche senza riguardare all'uso pratico delle formole trigonometriche per oggetti astronomici, non abbia ricercate le innumerevoli e curiose relazioni che presentano, come soggetti di contemplazione astratta. Che i matematici della Grecia non abbiano fatto questo, è forse da attribuirsi in parte a quell'estremo timore che pare avessero continuamente di mescolare la loro geometria con alcuna cosa che avesse un'apparenza di relazione ad un computo numerico; ed è sotto questo aspetto che la trigonometria si offrì loro in sul principio. In parte pure, questa sorta d'investigazione era in se stessa di una nuova specie, e di un genere che forse non sarebbe stato in perfetta armonia con lo stile e con la maniera seguita nelle loro dimostrazioni.

Tuttavia tutta questa scienza non è altro che una continua e bellissima applicazione di una semplice idea, — quella di *dare nomi* ai vari rapporti esistenti fra i lati e gli angoli di un triangolo rettangolo. La ragione di uno dei lati rettangolari all'ipotenusa è chiamata *seno* dell'angolo che vi è opposto, mentre quella del altro lato all'ipotenusa è il *cosseno* dello stesso angolo. E di nuovo, quella del seno al cosseno è chiamata *tangente*, e la sua inversa *cotangente*. Questi semplici *nomi* dati a ragioni spesso ricorrenti, aggiunti all'idea

di applicare il triangolo in diverse posizioni, cosicchè la sua ipotenusa sia sempre il raggio, e i suoi lati coincidano coi diametri di un circolo, il cui arco misuri l'angolo, sono gli elementi coi quali tutto l'edifizio della scienza è direttamente innalzato; e con questi semplici principii si è costrutta una macchina, che nelle mani di un abile analista, ha forse superato in potere ogni altra invenzione della geometria, ed è stata la causa principale dei trionfi del matematico in ogni parte cui la sua scienza venne applicata.

L'etimologia dei termini sopra definiti ha dato luogo a questioni, specialmente in quanto si riferiscono all'origine della scienza. Alcuni scrittori pretesero che il vocabolo *seno* derivasse dall'Arabo. E sebbene altri insistettero sulle etimologie greca e latina dell'arco, della sua corda, e della saetta (nome alcune volte applicato alla porzione del diametro intercetta), come denominazioni che danno una specie di descrizione imaginaria del diagramma, tuttavia nessun senso della parola *seno* si applicherà mai propriamente al caso.

Sembra che gli Arabi abbiano mostrato una grande inclinazione per la coltivazione dell'algebra. Questa scienza è stata trovata venir dall'India, e pare assai probabile che gli Arabi ne traessero la conoscenza da nazioni più orientali. I loro scrittori narrano che Mohamed Ben Musa del Korasan (verso il 959) rinomato fra i suoi compaesani per le sue cognizioni matematiche, viaggiò nell'India ad oggetto di acquistare maggior istruzione nella scienza dell'algebra. Ciò che in questi ultimi anni abbiamo saputo intorno all'algebra degl'Indiani, tende a darle un carattere distinto di originalità.

Quantunque si parli qui di scienza fiorente nelle

contrade orientali, dobbiamo inchiudervi l'impero dei Mori in Ispagna, nel quale troviamo, fra i più splendidi ornamenti della scienza araba, Al-Hazen il quale fioriva nell'undecimo secolo. La sua produzione principale è un trattato sull'ottica. Prima che si scoprisse nuovamente l'opera di Tolomeo sul medesimo soggetto, si supponeva che quella di Al-Hazen ne fosse in gran parte copiata. L'originalità di Al-Hazen e, a molti riguardi, la sua superiorità su Tolomeo, sono ora pienamente riconosciute; le sue applicazioni della geometria sono di un genere molto sottile ed ingegnoso. Egli suggerì la spiegazione dell'apparente ingrandimento dei corpi celesti vicini all'orizzonte, di cui abbiamo già fatto cenno. Trattò della rifrazione, e diede una spiegazione della causa dei crepuscoli. La sua investigazione della rifrazione atmosferica in quanto si applica all'astronomia, è la sola cosa forse in cui sia inferiore a Tolomeo. Appare ch'egli abbia fatto alcune buone congetture sulla struttura ottica dell'occhio, e tra l'altre cose osserva che quando parti corrispondenti della retina di ciascun occhio sono colpite, non vediamo se non un'imagine. I suoi scritti sono prolissi e senza metodo.

I conquistatori Tartari che succedettero agli Arabi in Oriente, furono pur essi zelanti promotori della scienza, specialmente dell'astronomia. Il nipote di Gengis-Khan fondò un osservatorio nella Persia, e lo fornì dei migliori libri ed apparecchi. Sotto la sua protezione fiorì (circa l'anno 1220) l'astronomo Nassireddin, noto per le sue tavole ed altre opere. Fra i successori di Timûr, quantunque ad un periodo assai più recente (A. 1440), Ulugh-Beg sovrano di Samarcanda, stabilì uno dei più grandi osservatorii di cui

parli la storia, e lo arricchì di vari stromenti, e specialmente di quadranti di grandissimo raggio. Coll'aiuto di molti scientifici collaboratori, pubblicò elaborate collezioni di tavole, ed un catalogo di stelle. Si è riconosciuto che la loro accuratezza è assai superiore a quella delle tavole greche. La scienza godette della medesima protezione sotto i successori di Gengis-Khan sul trono della Cina. Il decimoterzo secolo, per questo motivo e per l'introduzione dell'astronomia delle nazioni occidentali, può essere considerato come la più bell'epoca della scienza Cinese.

Il soggetto della quadratura del circolo fissò l'attenzione dei matematici arabi, i quali portarono alquanto oltre l'approssimazione con la quale Archimede ed Apollonio avevano espresso il rapporto del diametro alla circonferenza. Essi la diedero come quella di 1250 a 3927, che si accosta assai da vicino. Un altro valore in termini più semplici, e quasi altrettanto accurato, fu poscia dato da Metius, ed è facile il rammentarsene, perchè contiene soltanto i primi tre caffi ciascuno ripetuto di seguito; vale a dire, 113 a 355.

Questo soggetto ha continuato in fatto in tutti i tempi ad esercitare le specolazioni degli uomini in un grado singolare. Esso sembra essere un'eccezione alla verità generale dell'indifferenza manifestata per le ricerche astratte della geometria. Egli è questo un problema il quale, per quanto è connesso con un'applicazione pratica, ha, più secoli sono, ricevuto una soluzione che basta ampiamente per ogni oggetto di calcolo in cui può essere introdotto; e che i moderni matematici hanno trovato mezzo di esprimere con un decimale continuato a qualunque numero di cifre che l'accuratezza dei nostri calcoli possa richiedere; problema che

a questo riguardo non si distingue per niuna peculiarità, ma è soltanto uno di molti altri della medesima classe e nella medesima condizione. E tuttavia senza alcun oggetto pratico imaginabile in vista, esso ha in tutti i tempi, sin dalla prima sua introduzione, ottenuto una celebrità senz'esempio anche fra le classi più ignoranti; ed ha avuto un immenso numero d'investigatori che si sono dedicati alla sua soluzione con un ardore assolutamente prossimo all'insania, e che in molti casi, se non cominciò, terminò in una vera aberrazione di mente. Intieramente ignoranti dell'oggetto reale cui una tale ricerca dovrebbe esser diretta, essi hanno tentato le loro pretese soluzioni quasi per ogni sentiero, tranne quello cui le stesse condizioni del problema lo ristringono, cioè una dimostrazione strettamente geometrica per via di metodi elementari. Che l'ottenere questo sia assolutamente impossibile ne abbiamo ogni specie di certezza fuori dell'attuale dimostrazione. Certamente non è stato *dimostrato* che la circonferenza e il diametro di un circolo sono incommensurabili, ma ogni argomento tratto dall'analogia e dalla probabilità ci mena a crederlo. Il problema è sciolto con altri metodi che quelli di rigorosa geometria, il che fa che questi pretesi metodi sono superflui.

Vedremo in altra parte della nostra indagine quanto bene sia stato fatto indirettamente da queste discussioni; in quanto che, dall'agitazione della questione, veri matematici sono stati condotti ad esaminare le varie forme e le leggi delle serie nelle quali le approssimazioni a questi e ad altri valori dello stesso genere possono essere spinte. Ma la fama che il problema acquistò presso empirici ignoranti nacque probabilmente da quella connessione che forse si suppo-

neva avere con non so quali mistici segreti: quindi la perseverante diligenza con la quale si continuò a proporre l'un dopo l'altro mille fanciulleschi trovati che si onorarono col nome di dimostrazioni; alcuni misurando la lunghezza della linea percorsa da una ruota in una rivoluzione; altri vuotando il contenuto di un vaso cilindrico dentro ad un cubico; un altro tagliando via le aree e pesandole; chi volgendo i quattro quadranti di un circolo dal di dentro al di fuori; chi trovando la quadratura nelle stelle; e chi nel numero mistico della bestia nell'Apocalisse.

Questo potente segreto, e quello della pietra filosofale, i misteri dell'alchimia e soprattutto dell'astrologia giudiziaria, sembrano aver acquistato grand' influenza nelle età di cui parliamo, e specialmente fra gli Arabi. E in vero l'astronomia di questo popolo, benchè coltivata con zelo e con ingegno, pare essere stata generalmente associata all'astrologia e fatta servire ad essa. Tutta la teoria delle sue predizioni era edificata sulle configurazioni dei pianeti per riguardo al segno del zodiaco che sorgeva al momento della nascita di un individuo, la qual cosa si chiamava il suo oroscopo. Questo dipendeva naturalmente da una conoscenza sufficientemente esatta dei movimenti planetari, e il costrurre l'oroscopo di una persona richiedeva tavole di quei movimenti ed una facilità di calcolare le posizioni dei corpi celesti a qualunque dato momento. Non v' ha dubbio che la credenza in queste assurdità produsse almeno un possente motivo di coltivare l'astronomia, tanto nell'età di cui parliamo, quanto posteriormente presso gli Europei.

Le arti occulte si erano per tempo fatta strada in Europa, e varie circostanze concorrono a dimostrare

che ebbero origine in Oriente. L'astrologia era certamente ignorata in Grecia prima delle spedizioni di Alessandro; ed appare essersi mostrata per la prima volta in Roma nel tempo di Augusto, allorchè v'ebbe un immenso concorso di Orientali nella città, come ricaviamo dalle osservazioni satiriche di Giovenale.

Da quel tempo in poi, sino al diciasettesimo secolo, tutto il mondo incivilito nell'Occidente come in Oriente fu schiavo di questo straordinario e superstizioso aberramento; ed anche ai giorni nostri se ne incontrano ancora le tracce in alcuni degli almanacchi.

Scienza in Europa nel Medio Evo

Durante il Medio Evo la coltivazione della scienza era caduta in Europa al suo più basso grado. Non solamente non si spiegava alcun'energia originale nello allargare i tesori del sapere, ma non v'era neppure desiderio di conservare ciò che già si era saputo. Non v'erano scrittori che potessero aggiungere al capitale delle cognizioni, e pochi erano i lettori capaci di istruirsi di ciò che i loro antenati avevano fatto. Le memorie dell'antico sapere e della filosofia, erano un libro sigillato, per l'ignoranza totale della lingua greca; e quantunque esistessero alcune poche traduzioni latine, o piuttosto compendii, di uno o due trattati di Aristotile, o forse di alcune altre opere di scienza, derivate da versioni orientali ovvero dagli avanzi della letteratura dell'impero Romano, tuttavia erano poco letti e meno ancora apprezzati ed intesi. Le poche cognizioni che esistevano erano esclusivamente il patrimonio del clero e dei monaci; e se in qualche caso esse si stendevano al di là di ciò che era me-

ramente necessario per l'adempimento delle funzioni ecclesiastiche, queste erano eccezioni assai rare. La sola filosofia professata era un seguire ciecamente i dommi di Aristotile, e probabilmente professavasi da molti che non sapevano altro delle opinioni di lui fuorchè poche frasi tecniche, e nulla delle sue opere tranne i soli titoli.

Gli stabilimenti monastici furono tuttavia i santuari che diedero un asilo al sapere qualunque si fosse; e senza dubbio ogni avanzo dell'antica letteratura che ci è stato conservato, ad essi è dovuto.

In età quali sono quelle di cui parliamo, quando nulla prevaleva nel mondo se non una barbarie universale, la violenza e lo spargimento del sangue, i monasteri erano generalmente tenuti sacri da tutti i partiti; e maggiore era l'ignoranza che regnava al di fuori, più potentemente la superstizione salvava quei santuari dalle depredazioni. Nelle biblioteche annesse a queste istituzioni, i manoscritti degli antichi scrittori erano almeno protetti contro la violenza del saccheggio militare e le devastazioni delle scorrerie nemiche. Le opere dei filosofi e le preziose memorie delle scoperte matematiche ed astronomiche delle età passate potevano almeno riposare colà in tranquilla sicurezza. Ma sgraziatamente non furono salve da una distruzione di altro genere; e non v'ha dubbio che moltissimi di questi inestimabili avanzi dell'antichità perirono per somministrar materiali agli amanuensi de' monasteri i quali spietatamente cancellarono le pagine della scienza e della letteratura antica per inserirvi leggende di santi. Coll'andare del tempo tutti avrebbero forse avuto lo stesso destino, ma prima che questo potesse accadere, l'aurora di una più bella età

aveva cominciato a comparire: ed alcuni pochi individui sorsero negli ordini monastici, i quali essendo superiori all'universale dei loro fratelli, conobbero bastantemente il pregio di alcuni dei tesori contenuti in quei depositi, per redimerli da una così indegna e barbara distruzione.

Il semplice atto di salvare quei preziosi avanzi dell'antichità, è cosa che dà dritto a chi ne fu autore alla riconoscenza della posterità, e basterebbe perchè si chiamassero illuminati e dotati di discernimento quegli uomini che così mostraronsi superiori alla comune intelligenza dei loro contemporanei. Ma fra il mero sospetto che quei volumi avessero qualche pregio, e la coltura e la capacità necessarie per apprezzarne giustamente il contenuto passa senza dubbio un notevole intervallo. Se non che là dove esisteva l'inclinazione allo studio v'erano ancora molte difficoltà a vincere per poterla coltivare; e molto tempo e molte cognizioni sussidiarie si richiedevano ad aprire compiutamente i tesori dell'antica scienza. I depositi di questi inestimabili capitali dovevano essere fatti accessibili; era da acquistarsi la conoscenza della lingua in cui erano involti; i manoscritti erano da diciferarsi; il critico e il gramatico dovevano far uso della loro arte prima che la curiosità dello studente della geometria o dell'astronomia potesse essere appagata. Ad ogni modo questa non poteva non essere una fatica lunga e laboriosa; e particolarmente in quelle età, nelle quali si poteva aspettare così poco aiuto ed incoraggiamento; e in cui anzi pareva che tutto avesse un aspetto ostile al proseguimento di simili studi.

Il dominio dei Mori nelle Spagne (che cominciò nel 713) sembra essere stato uno dei principali veicoli

per cui la scienza dell'Oriente si apri una strada nell'Europa moderna. Dopo che la lingua greca aveva cessato di essere conosciuta in Occidente, le traduzioni degli antichi matematici in arabo, le quali furono introdotte nelle università moresche delle Spagne, divennero note a molti cui gli originali greci erano totalmente sconosciuti. Probabilmente le crociate medesime ebbero parte nell'arrecar qualche porzione della scienza dei Saraceni nell' Occidente. Queste opere orientali furono il più delle volte tradotte nuovamente in latino; e molte di esse furono per questo solo mezzo conosciute per secoli, finchè le ricerche dei moderni scopersero gli originali greci. Di alcune tuttavia gli originali non furono mai scoperti.

Pertanto qualche miglioramento nello stato del sapere e dell' inclinazione allo studio si andava gradatamente mostrando; e a mano a mano che scemavano le difficoltà le quali si opponevano all'acquisto di una conoscenza degli antichi autori, s'accrebbe il numero di coloro la cui curiosità fu rivolta a questo soggetto. Lo studiare quegli scritti con vantaggio, e l'entrare pienamente nello spirito degli antichi geometri, richiedevano menti già in qualche parte coltivate ed un gusto considerevolmente più fino di quello che generalmente prevaleva in quei tempi. Ma la lettura di quelle opere tendeva a creare questo gusto ed a conferire questa coltura; e così per una reazione graduale, lo studio di quelle memorie produsse uomini di menti più illuminate e di un intelletto più svegliato, i quali presto furono capaci di correggere gli errori dei manoscritti che copiavano, e di spiegare le difficoltà degli autori che traducevano.

In questo modo ci fu conservata tutta la conoscenza

che abbiamo di quelle importantissime memorie della filosofia antica, di cui nelle sezioni precedenti abbiamo procurato di dare qualche notizia; e così fu pure dato il primo impulso all'ulteriore coltivazione della scienza e ad una più ampia estensione del sapere nei tempi moderni. Coloro cui siamo debitori della rinnovazione delle scienze nei tempi di mezzo, cominciarono le loro fatiche con un accurato studio dell'antichità: questo rivelò loro a un tratto ciò che si era fatto prima, indicando a un tempo ciò che rimaneva a farsi: questo stimolò la loro curiosità, diede coraggio ai loro sforzi di proseguire le ricerche, e somministrò loro stromenti bastevoli, perchè potessero almeno cominciare l'opera felicemente. Degl'individui che furono i primi a prender parte nella grand'opera della ristaurazione della scienza pochissimo è noto; radi sono gli stessi loro nomi che ci sono pervenuti. Uno dei più eminenti fu Gerberto, monaco dei Paesi Bassi, che visse nel decimo secolo, il quale appare essere stato dotato d'ingegno superiore ai suoi tempi. Pieno di un ardente desiderio di studiare le scienze, vide essere così basso lo stato di barbarie e d'ignoranza in cui le scuole monacali d'Europa erano immerse, che stimò in nessun altro luogo potersi acquistare le cognizioni che cercava fuorchè nelle istituzioni moresche della Spagna. Quivi egli conobbe la scienza antica per mezzo delle traduzioni arabe; e tornato in Francia compose vari trattati che mostrano una conoscenza della geometria e dell'astronomia superiore d'assai a quella dell'età sua, e che prova la sua familiarità con le opere di Euclide e con le invenzioni di Archimede.

Uno dei servizi più importanti resi da Gerberto alla causa delle cognizioni utili fu l'introduzione delle

cifre arabe, o della notazione decimale. Forse non fu mai invenzione alcuna che sia a un tempo più semplice nella sua applicazione, più raffinata nel suo principio, e di un pregio e di un'utilità più universale di questa. È difficile lo scoprire la sua vera sorgente. Alcuni l'attribuirono all'Arabia ed altri all'India. Gerberto la conobbe certamente per mezzo dei Mori. Appena è possibile il formarci un' idea dello stato in cui ogni parte della scienza dipendente dai numeri doveva trovarsi senza di questa invenzione; nè possiamo imaginarci con quali mezzi gli astronomi antichi facessero i loro calcoli. Questa sola circostanza del difetto di questo sistema di computazione, può quasi da sè dar ragione di quell'assenza di applicazione delle matematiche ai soggetti fisici che così sfortunatamente caratterizza la scienza degli antichi. — Gerberto divenne poscia papa sotto il nome di Silvestro II.

Nell'undecimo secolo l'esempio di Gerberto fu imitato da Adelardo, monaco inglese, il quale per amore di cognizioni scientifiche viaggiò in Ispagna e nell'Egitto ed imparò la lingua araba, della cui cognizione fece uso per tradurre da quella in latino gli « Elementi di Euclide ». Si crede che questa fosse la prima traduzione di Euclide conosciuta in Europa. Tuttavia pare che eccitasse poca attenzione, e si dice che sia rimasta manoscritta sino ai dì nostri. Un'altra traduzione, fatta parimente dall'Arabo da Campano circa un secolo più tardi, fu la prima che acquistò qualche celebrità. Tutte le prime edizioni stampate sono ricavate dal suo testo.

Stabilimento delle Università

L'istituzione delle università è un fatto importantissimo nella storia del risorgimento della scienza. Essa risale con molta certezza all'undecimo secolo, quantunque probabilmente prima di quel tempo esistessero in varie parti d'Europa alcuni stabilimenti imperfetti di questo genere. Le sole scuole sin allora accessibili erano i monasteri. Ad alcuni di questi ed alle chiese cattedrali erano annesse scuole in cui la letteratura e la scienza monacale dei tempi, quali esse erano, potevano essere imparate.

In Inghilterra il regno di Alfredo (cominciato l'anno 870) era stato segnato da molti passi nell'incivilimento. Quel gran sovrano non era meno illustre pelle sue proprie cognizioni che pei suoi munifici ed illuminati sforzi a promuovere e ad incoraggiare l'acquisto del sapere fra i suoi sudditi. È soggetto di discussione fra gli antiquari sino a qual punto preciso egli fondasse a Oxford uno stabilimento della natura di un'università; ma sembra ammesso ch'egli si adoperò in qualche modo per un simile oggetto.

Le turbolenze e le guerre dei tre secoli seguenti interruppero il corso dei miglioramenti, e quasi estinsero le poche cognizioni che già avevano cominciato a spuntare. Alcuni dei sovrani Normanni, e specialmente Arrigo II, si distinsero per la loro protezione delle lettere, e sembra che le università di Oxford e di Cambridge prendessero primamente la forma privilegiata di sedi di dottrina e di scienza, sotto i loro auspici. Forse è adesso impossibile il decidere quale delle due sia più antica.

È opinione generale che entrambe, o in quest'età o subito dopo, divenissero, per circostanze locali, rinomati luoghi di studio, ed acquistassero una gran celebrità per la fama che anche una picciola dottrina conferiva a quei tempi a chi si dedicava alle lettere. Il numero di coloro che abbracciavano la vita dello studente sembra essere stato quasi incredibilmente grande, se possiamo fidarci alle memorie contemporanee; e i nomi di parecchi individui che godettero di un'alta riputazione ai tempi loro, come maestri nelle diverse parti delle lettere e della filosofia, sono insino a noi pervenuti.

Alla celebrità di tali maestri ed agli eccitamenti allo studio che porgevano le abitudini del vivere seguite in quei luoghi, non meno che allo stimolo della fratellanza e dell'emulazione, è probabilmente da attribuirsi il sempre crescente concorso degli studiosi a quelle sedi di sapere; e da simili cause ebbero origine le istituzioni susseguenti che a mano a mano vi sorsero, e finalmente vennero a formare un tutto di corpi regolari riuniti. Allorchè gli studenti cominciarono a crescere in numero, si pensò tosto a creare un sistema regolare divenuto necessario pel buon governo delle comunità che si formarono. Gli studenti vivevano insieme in certe case che presero l'appellazione distintiva di *Sale* (Halls), ciascuna delle quali aveva i suoi propri regolamenti interni, mentre frequentavano in comune le pubbliche lezioni date da chiunque poteva procurarsi un'udienza. Presto si trovò essere necessaria una specie di sistema; qualche distinzione fra *scolari* e *maestri* era ovvia; alcune regole intorno al corso d'istruzione divennero indispensabili; alcuni esercizi per attestare i progressi degli

studenti furono naturalmente richiesti. Così ebbero origine gradi, professori e disputazioni.

Si aggiunsero poscia Collegi: essi furono fondati sul modello delle case religiose, e furono ordinariamente dotati pel solo oggetto di mantenere un certo numero di persone chiamate Compagni (Fellows) e Scolari, sotto la direzione di un capo, i quali dovevano consacrarsi alla coltivazione delle lettere e conformarsi alle regole del fondatore, quasi nello stesso modo che i monaci dei diversi ordini assumevano obbligazioni simili per le osservanze religiose delle loro società. I collegi, in parecchi casi, furono stabiliti sulle stesse basi delle *Sale* originarie, e perciò questi due nomi divennero per lo più sinonimi. Alcuni dei collegi cominciarono poscia ad ammettere nel loro seno scolari indipendenti, oltre al numero dei membri stabilito dalla fondazione.

Le lezioni pubbliche, gli esercizi e le disputazioni delle università avevano luogo in edifizi pubblici a ciò destinati, che si chiamarono Scuole. A queste si aggiunsero poscia biblioteche; e coll'andare del tempo venne a confermarsi un certo sistema regolare o corso di studi, distinto in varie *Facoltà*, in cui si conferirono gli onori di un grado. La facoltà delle arti venne a comprendere tutte le scienze liberali allora conosciute; passando per la quale lo studente poteva progredire alle facoltà superiori delle leggi, della teologia e della medicina.

Queste o simili osservazioni si applicano alla probabile origine delle altre università di Europa. Esse non furono regolarmente costituite come università, e non ricevettero privilegi dai sovrani dei vari paesi in cui si trovavano, se non quando, per diverse cagioni,

erano già luoghi in cui si adunava la frequenza degli studenti. Così Parigi era probabilmente da lungo tempo un luogo di studi prima che fossevi parzialmente eretta un'università nel 1101, stata poscia più pienamente riconosciuta e privilegiata con una carta da Filippo Augusto circa il 1200. Essa mantenne lungamente una riputazione superiore a quella di ogni altra scuola europea. Le università di Bologna, Padova, Salamanca e poche altre sono a un di presso della medesima antichità. Parecchie, specialmente quelle della Germania, furono erette un secolo più tardi. Il disegno e la costituzione originale di tutte queste università avevano una somiglianza generale quanto alle facoltà riconosciute e ai gradi che vi si conferivano. Lo stabilimento di collegi presso di esse sembra essere stata cosa quasi peculiare alle università inglesi; e si vuol credere che abbia avuto una notevole influenza nella loro condizione e nel progresso della scienza in questo paese.

Gli studi che si facevano nelle università d'Europa, da quei tempi sino ad un'epoca comparativamente recente, non comprendevano quasi altra cosa se non comenti servili su Aristotile, e gli esercizi scolastici consistevano in frivole disputazioni di parole tratte, con infinita sottiglíezza, da ogni soggetto che poteva somministrar materia capace di essere sì fattamente pervertita; ogni ramo di sapere essendo apprezzato precisamente in proporzione del grado di perplessità in cui poteva in questo modo essere avvolto. I soggetti più in favore erano naturalmente la metafisica e la teologia.

Gli studenti assorti in queste puerili discussioni non potevano gran fatto progredire nell'acquisto di sane

dottrine, nè molto adoperarsi a promuovere la scoperta di nuove verità. Abbiamo tuttavia in questi tempi uno splendido esempio di uno studioso e di un monaco che fu superiore ai pregiudizi del suo tempo, e divenne foriero di un'età più illuminata.

Rogero Bacone

Rogero Bacone nacque presso Ilchester nel 1214. A Oxford fece straordinari progressi nel solito corso di lettere e nella logica scolastica. Andò poscia a compiere i suoi studi nell'università di Parigi, la quale godeva allora di tanta fama da attirar studenti da tutte le parti dell'Europa. Colà ottenne il grado di dottore e gettò i fondamenti della sua futura celebrità. Tornato in Inghilterra prese l'abito dell'ordine di S. Francesco, e proseguì le sue ricerche a Oxford in un gran numero di soggetti assai fuori de' limiti che allora costituivano il solito corso di studi. Il suo ardore nella coltivazione del sapere lo indusse a tentare nuove investigazioni in pressochè ogni parte di ciò che studiava; e coll'aiuto della liberalità di vari protettori, il cui favore si era cattivato con la sua gran riputazione, si dice che spendesse grosse somme di danaro a raccoglier libri, a procurarsi e a costruire apparecchi che aveva imaginati pel proseguimento delle sue investigazioni sperimentali.

Sembra che fosse ben versato nelle matematiche e nella teoria della meccanica qual era allora conosciuta, sebbene non appaia che abbia fatto alcun passo in queste scienze. In astronomia ha lasciato indizi di un sapere di gran lunga superiore a quello de' suoi contemporanei; e mostrò la necessità di una nuova

riforma del calendario, oltre la correzione giuliana, conforme a quella che fu poscia eseguita. Nella meccanica pratica e nella chimica si hanno memorie di molte delle sue invenzioni, e di un maggior numero d'idee e di specolazioni lasciate imperfette, molte delle quali furono poscia mandate ad effetto. Il principio della composizione della polvere è distintamente indicato ne'suoi scritti, quantunque non lo ponesse mai in pratica, mosso, come si dice, da motivi d'umanità. Egli descrive chiaramente la campana da palombaro, e varie macchine semoventi. Ebbe molta cognizione della medicina, e scrisse su varie parti di dottrina morale, filosofica e metafisica.

Le sue scoperte in ottica sono state cagione di molte discussioni, ma è pur certo che ha inteso la teoria delle lenti. Al-Hazen aveva osservato che oggetti piccioli, come per esempio le lettere vedute attraverso un segmento d'una sfera di vetro, apparivano ingrossati, e che più largo era il segmento di sfera maggiore era il grado d'ingrossamento. Supponevasi che il segmento fosse collocato dalla parte piana sulle lettere o sull'oggetto. Bacone discute i vantaggi comparativi di segmenti che inchiudano una maggiore o minor porzione della superficie sferica; ma sebbene i suoi argomenti siano da taluni creduti involvere certi errori, tuttavia in generale si confessa che ciò che egli ha scritto dà un'idea più estesa del soggetto che non si avesse prima, e prova a sufficienza che sapeva seguire il progresso dei raggi della luce attraverso un corpo sferico trasparente, e intendeva come si dovesse determinare il luogo dell'imagine. Il Dr. Smith nella sua Ottica, ha tentato di provare che queste conclusioni erano puramente teoretiche, e che Bacone non aveva

mai fatto sperimento su questa materia. Questo è stato controverso dal Molyneux, il quale sostiene che Bacone non solamente conosceva le proprietà delle lenti teoricamente, ma le aveva pure applicate in pratica. Ad ogni modo la sua cognizione del soggetto era apertamente tale, che se non la ridusse egli stesso in pratica colla formazione attuale e coll' uso di lenti, egli rivelò principii che non poterono rimaner lungo tempo senza una tale applicazione. L' uso delle lenti, specialmente come occhiali, fu certamente un' invenzione antica, ma in un' età ignorante non possiamo aspettarci che si notasse accuratamente l' origine delle scoperte, e il ricercare il loro principio è spesso simile al voler risalire un fiume sino alla sua sorgente, impresa che presto si trova impossibile nella moltiplicità delle correnti che si uniscono a formarlo.

Dopo d'aver pienamente discusse tutte le prove il Dr. Smith è d' opinione che circa il 1313 s' impiegarono lenti per assistere la vista, ma che null' altro si può ricavare con certezza. Alcuni passi degli scritti di Bacone, che erano una volta interpretati come relativi al principio del telescopio, sembrano essere stati compiutamente mal intesi, e non contenere realmente nulla di questa natura. Pare fuori di dubbio che credesse alla possibilità della trasmutazione dei metalli e probabilmente anche nell' astrologia; ma fu superiore alla sua età nel rigettare assolutamente le pretese della magia.

Il gran merito di Rogero Bacone non consiste tanto nei meri particolari delle sue varie invenzioni e de' suoi disegni, quanto nell' ardito suo ricorso allo sperimento ed all' osservazione della natura. Egli si fece campione di libere investigazioni, opponendosi a tutte

le pastoie dell'autorità in cose di scienza. In un'età come era quella in cui viveva, pochi erano coloro che fossero capaci di profittare del suo esempio e dei suoi insegnamenti; ma non mancavano persone che sapevano apprezzarli, nè chi aveva ragione di temere l'influenza di tali principii, e procurare perciò d'impedirne i progressi, e se fosse possibile di sopprimerne la promulgazione. Si allegò per pretesto che gli studi di Bacone erano collegati con la magia, quantunque egli avesse scritto espressamente un'opera contro quell'arte; quindi gli fu proibito di leggere nell'università, e fu confinato nel suo convento. Nemico della superstizione, egli raccomandava da uomo di mente illuminata la coltivazione della scienza naturale, ad oggetto di condurre gli uomini ad una più giusta concezione dei veri fondamenti della religione. Le persecuzioni cui fu fatto segno furono per qualche tempo frenate sotto la savia amministrazione di papa Clemente IV, il quale non solamente salvò Bacone da ogni molestia, ma lo incoraggiò a fare una collezione de' suoi trattati, la quale fu poscia pubblicata col titolo di «Opus Maius» nel 1266. Alla morte di quel pontefice la persecuzione sorse più furiosa contro di lui, e sotto vari pretesti egli fu ripetutamente imprigionato, i suoi libri furono proibiti e le sue dottrine condannate. Finalmente per intercessione di alcuni potenti suoi amici, fu rimesso in libertà; e tornando ai suoi studi, quantunque fosse giunto ad un'età avanzata, continuò la composizione di parecchie delle sue opere, l'ultima delle quali fu un compendio di teologia, e morì tranquillamente nel suo convento a Oxford nel 1292.

Forse è per noi difficile l'apprezzare pienamente un uomo qual fu Rogero Bacone, per difetto di una

vera idea della somma ignoranza da cui era circondato: ma il rispetto in cui la sua memoria fu sempre tenuta presso del popolo è una prova dell'altezza del suo ingegno. Egli merita pur anche la nostra simpatia come il primo forse d'una lunga serie di vittime della persecuzione degl'ignoranti, e come uno di quell'illustre numero di letterati e di scienziati, i quali difesero la causa della libertà morale e intellettuale contro il despotismo della superstizione.

Risorgimento dell'algebra, della fisica, dell'astronomia e della geometria.

L'origine orientale dell'algebra sembra posta fuori di dubbio, ma vi è stata qualche diversità d'opinione intorno al tempo in cui essa divenne primamente nota all'Europa. I più credono che ciò avvenisse sul principio del 13° secolo. Leonardo, mercatante di Pisa, avendo frequentemente visitato l'Oriente nel corso delle sue avventure commerciali ritornò in Italia, non solamente arricchito dal traffico, ma ancora istrutto nella scienza di quelle contrade. Egli ne recò la cognizione dell'algebra, e due sue opere su quella scienza portano le date del 1202 e del 1228. Il soggetto non è spinto più in là delle equazioni quadratiche; il linguaggio tecnico vi è assai imperfetto e non ancora formato, le quantità e le operazioni essendo espresse alla distesa, coll'aiuto di sole poche abbreviazioni. La regola per risolvere le equazioni quadratiche, compiendo il quadrato, è dimostrata con una costruzione geometrica.

La polarità dell'ago magnetico è descritta in alcuni versi attribuiti a Guyot, poeta francese che visse intorno il 1180; ma alcuni autori opinano che questa

descrizione fosse scritta da Ugone Bertius verso la metà del secolo seguente, e si crede generalmente che la bussola fosse per la prima volta impiegata nella navigazione da Flavio Gioia di Amalfi verso il 1260. Si dice ch'egli segnasse il settentrione con un fiordaliso, quasi in omaggio al ramo della famiglia reale di Francia che allora regnava a Napoli.

Dante, che fiorì sul finire del decimoterzo secolo, si distinse pur anche negli studi filosofici, e fra le numerose sue opere si trova un saggio sulla natura degli elementi.

Vitellio o Vitellione, filosofo Polacco, comentò Al-Hazen, e gli fu superiore in un trattato pubblicato nel 1270. Esaminò largamente la rifrazione nel vetro e nell'acqua, e diede una tavola delle deviazioni a diverse incidenze, ma senza scorgere la legge che le connette. S'imaginò che la rifrazione nascesse da una specie d'impedimento o di ritardo che la luce soffre nell'entrare nel mezzo più denso; e ragionò su di un'oscura idea della risoluzione della forza. Trattò imperfettamente dell'arcobaleno e dell'occhio, e mostrò come aveva pur fatto Al-Hazen, che la visione non ha luogo, come insegnava la filosofia peripatetica, per emissione dall'occhio all'oggetto. Diede pure una specie di teoria vaga dei parelii e degli aloni.

Nelle più folte tenebre dei tempi di mezzo, lo studio dell'astronomia non fu forse mai intieramente abbandonato, ma è quasi certo che l'incoraggiamento a studiarla proveniva in gran parte dalla popolarità dell'astrologia, e dall'aiuto che quell'arte traeva dalle determinazioni astronomiche. In quelle età lo stato del sapere era generalmente caratterizzato dalla mescolanza di pochi avanzi di vera filosofia e di buona

scienza con un'immensa massa d'ignoranza e di superstizioni. L'astrologia era allora egualmente venerata dalla moltitudine e protetta dai grandi e dai potenti. Nei secoli decimoterzo e decimoquarto era anche pubblicamente professata nelle università d'Italia, e particolarmente a Padova e a Bologna v'erano professori espressamente istituiti per iniziare i discepoli che davano migliori speranze nei misteri di questa sacra scienza. Gli effetti di questa ridicola prevenzione sfortunatamente sopravvissero per secoli interi dopo che l'insegnamento ne era cessato, e continuarono lungamente a spargere una specie di misticismo sulla coltivazione della scienza legittima, che non fu punto favorevole al suo debito sviluppo ed ai suoi progressi. Anzi quando l'arte astrologica fu compiutamente sbandita, e fu divenuta soggetto di rimproveri e di riso, la connessione tra essa e l'astronomia era stata così stretta che questa ebbe talvolta la sua parte nelle contumelie lanciate contro le arti occulte, e nell'opinione di molti, posti al disopra del volgo, le doti dell'una non furono accuratamente distinte dalle pretese dell'altra.

Il decimoterzo secolo può essere riguardato come l'epoca in cui si scorgono i più manifesti sintomi di rinascente amore delle lettere e delle scienze. La dottrina che sin allora era stata ristretta ai monasteri, cominciò a spandersi per le città e per le corti. Ai monarchi barbari delle età tenebrose succedettero principi che coltivarono e protessero le lettere. Non è da dubitarsi che lo zelo spiegato da taluni di essi per l'incoraggiamento dell'astronomia non procedesse dalla loro venerazione per l'arte astrologica; tuttavia dobbiamo riguardare con qualche indulgenza una debolezza che produsse un vero benefizio per la scienza.

L'imperatore Federigo II fu illustre non meno pel suo sapere che per una generosa protezione delle lettere. All'incoraggiamento da lui dato siamo debitori della prima traduzione della grand'opera di Tolomeo dall'arabo in latino (il greco essendo ancora sconosciuto in Occidente); ma la traduzione araba era lungi dall'esser fedele all'originale, e l'opera eseguita da Gerardo di Cremona fu per conseguenza piena d'errori. Tuttavia fu importante a promuovere la conoscenza dell'astronomia in quell'età.

La scienza debbe ancora più ad Alfonso X, re di Castiglia, che a Federigo. Sovrano di un paese confinante con quello degli Arabi, che allora occupavano il mezzodì della Spagna, egli potè facilmente raccogliere presso di sè buoni astronomi, i quali potevano soltanto trovarsi nelle università moresche. Egli impiegò molte di queste dotte persone nella costruzione di una serie di tavole astronomiche, che dovevano essere arricchite delle osservazioni dei secoli posteriori a Tolomeo (anno 1250). Non ostante lo zelo e la munificenza del re, queste tavole non sembrano tuttavia aver riempiuto il suo disegno. Uno dei loro maggiori difetti fu l'introduzione di una peculiare ineguaglianza nel movimento delle stelle fisse in longitudine, che in quel tempo aveva ottenuto credenza, ed era chiamata *trepidazione*. Essa era stata tratta come una conseguenza teorica da un movimento particolare nell'ottava sfera del sistema di Tolomeo, per certe ragioni che gli astronomi Arabi mantenevano acremente, essere di grand'importanza, sebbene non fossero da Tolomeo riconosciute. Gli astronomi o astrologi Ebrei la connettevano con certi misteri cabalistici. E tuttavia non aveva il menomo fondamento in alcuna cosa attualmente osservata.

Del grado di scienza di Alfonso non abbiamo indizi precisi; ma la sua osservazione così spesso citata sulla complessità del sistema Tolemaico, indica certo una mente superiore ai pregiudizi de' suoi tempi.

Il paragone delle tavole Alfonsine con quelle di Tolomeo mostra veramente un picciolissimo avanzamento nella scienza, duranti gli undici secoli che tra esse intervengono. In fatto la scienza non aveva ancora cominciato efficacemente a risvegliarsi dal torpore in cui era sì lungamente giaciuta; e non fù se non quasi dugent' anni dopo che si vide qualche chiaro effetto del suo risorgimento.

La prima aurora di un miglioramento si riconosce nelle fatiche e nei disegni di Giorgio Purbach, professore di astronomia a Vienna, verso l'anno 1450. Egli intraprese di emendare le tavole astronomiche che erano in uso, e sentì la necessità di una versione accurata di Tolomeo. Dopo l'inesattissima di Gerardo, un'altra era stata fatta dal greco da Giorgio di Trebisonda, che sembra non essere stata molto migliore. Non risulta tuttavia che Purbach mandasse ad effetto questo disegno. Introdusse alcuni miglioramenti nelle tavole dei pianeti; ma le emendazioni fattevi furono forse più che compensate dalla sua adesione alla ridicola idea della trepidazione. Il maggior servizio che rendesse alla scienza fu la formazione di una tavola di seni, su di una divisione *decimale* del raggio, allora per la prima volta impiegata.

Ma questi ed altri simili pensieri pel miglioramento tanto delle matematiche pure, quanto dell'astronomia, furono proseguiti con maggior zelo e più felice successo da Müller di Königsberg (nato nel 1436), più generalmente conosciuto dal secondo nome latinizzato,

secondo l'uso dei tempi, nel sonoro titolo di *Regiomontanus*. A lui dobbiamo molte traduzioni e molti comenti unitamente a parecchie opere pregevoli ed originali. La trigonometria, la quale (siccome abbiamo osservato) non era mai stata nota ai Greci come scienza separata, e che prese quella forma nell'Arabia, giunse nelle mani del Regiomontano ad una gran perfezione, e si avvicinò d'assai presso alla condizione cui è pervenuta ai dì nostri. Egli introdusse pure quella semplice ma pregevolissima modificazione della notazione decimale, che consiste nel fissare il luogo dell'unità a qualunque cifra, e non necessariamente a man destra, per via della semplice introduzione di una virgola, per cui tutte le operazioni aritmetiche continuano a procedere senza incaglio; l'uso, in una parola, delle frazioni decimali. Questo dà alla scala delle frazioni tutta la sua estensione, ed alla computazione numerica il massimo grado di semplicità e di allargamento, cui sembri capace di arrivare. La traduzione latina dell'Almagesto di Tolomeo che Purbach intendeva d'intraprendere e che forse fu da lui cominciata, fu compiutamente eseguita da Regiomontano: il quale vi aggiunse pure un comento ed un certo numero di problemi e d'illustrazioni. Egli migliorò grandemente le tavole dei seni, e ve n'aggiunse una di tangenti. Sembra che fosse persuaso della realtà del movimento della terra quantunque non s'avanzasse a riconoscere l'intero sistema solare. Costrusse un planetario che si dice aver eccitato una gran maraviglia. Calcolò pure le effemeridi delle posizioni dei pianeti per molti anni avvenire. La sua perizia nella meccanica pratica fu tale da dargli in quell'età ignorante una riputazione di possedere un potere miracoloso; e si narrano cose maravigliose degli

automati da lui costrutti. Certamente contribuì molto al miglioramento degli orologi nella forma imperfetta in cui si costruivano prima dell'applicazione del pendolo. La sua gran fama indusse Sisto IV a chiamarlo a Roma per assistere alla divisata riforma del calendario. Giunto in quella città, egli erasi da poco tempo impegnato nei preliminari di quell'opera, quando una malattia epidemica lo rapì sul fiore degli anni (1476); e fu onorato di un pubblico funerale nel Panteone. Morì con innumerevoli disegni per l'avanzamento delle scienze che aveva arricchite di produzioni che attestano un ingegno di primo ordine, unito al più sincero zelo per la causa, e ad un'instancabile perseveranza nel proseguire le più laboriose e più minute sue operazioni.

Le fatiche di Purbach e di Regiomontano formano l'anello fra l'astronomia dei tempi di mezzo e quella dei tempi moderni. Il fine del decimoquinto secolo non è illustrato da alcuna gran scoperta; ma è facile il vedervi, nel crescente spirito di ricerche e d'investigazione, l'alba di quella luce che era vicina ad illuminare l'Europa con tanto splendore. Il progresso di questi miglioramenti era senza dubbio, in sul principio, lento ed incerto; ma tutto il seguente avanzamento si vuole giustamente attribuire allo slancio originale dato dai filosofi dell'età precedente. Questi erano per verità pochi e mal provveduti di mezzi, tuttavia furono spinti innanzi dall'impulso irresistibile del genio; essi cominciarono a sentire la necessità di stabilire la verità della scienza su di una base più ferma che l'autorità di Aristotile, ed aspirarono ad un più alto grado che a quello di semplici comentatori di Tolomeo.

Fra coloro che più assiduamente lavorarono ad innalzare l'edificio dell'astronomia sulla base dell'osser-

vazione, si trova Bernardo Walther ricco cittadino di Norimberga, uno dei più antichi e più zelanti dei moderni astronomi. Le sue osservazioni, interessanti per molti riguardi, sono particolarmente notevoli per essere state fatte con orologi regolati da volanti che paiono aver riempiuto discretamente il loro ufficio. Ad ogni modo l'importanza di un simile aiuto ai lavori dell'osservatorio cominciava allora a farsi generalmente sentire.

Walther fu uno dei primi fra i moderni che riconobbe la refrazione atmosferica; sebbene ne avesse un'idea assai imperfetta, e la supponesse sensibile solamente presso l'orizzonte. Le sue osservazioni su questa materia appaiono essere state fatte indipendentemente da quelle di Vitellione e di Al-Hazen.

La presa di Costantinopoli nel 1452 spinse molti Greci coltivatori della scienza a cercare un ricovero in Italia: essi vi trovarono un asilo, e le biblioteche di quel paese ebbero in deposito tutto ciò che rimaneva dei tesori della letteratura e della filosofia greca. Di là venne probabilmente il primo stimolo allo studio della lingua greca in Europa. I traduttori degli autori greci e i loro comentatori cominciarono a moltiplicarsi; e il rapido progresso dell'arte della stampa diede un nuovo impulso colla facilità che porse di disseminare il sapere. Fra questi numerosi scrittori possiamo particolarmente citare Venatorio, conosciuto per la sua traduzione di Archimede, e Commandino per quella di Euclide e di vari altri antichi matematici arricchiti di comenti.

I matematici greci, in particolare, cominciarono allora ad eccitare l'attenzione degli studenti, e le loro fatiche geometriche ad essere giustamente apprezzate.

I trattati elementari erano già stati prescelti come base dello studio matematico; e le parti più difficili e più astruse dei sistemi antichi principiavano ad essere studiate con tutto lo zelo e l'ardore che è comunemente ispirato dall'acquisto di un nuovo tesoro e dalla scoperta di una novella sorgente di piacere intellettuale.

Abbiamo già fatto parola di quella bella parte delle antiche matematiche, nota sotto il nome di analisi geometrica; questa può giustamente chiamarsi la parte più preziosa dell'antica geometria, in quanto che il metodo di scoprire la verità è più pregevole che le verità particolari che ha già scoperte. Sgraziatamente poche opere degli antichi su questo soggetto sono pervenute insino a noi, e quelle poche hanno sofferto le ingiurie del tempo più che quasi ogni altro avanzo dei loro scritti. Fra i primi dei moderni che rivolsero la loro attenzione al soggetto di questi metodi, e a svolgere la materia di alcuni degli antichi trattati, vi ebbe Werner che visse verso il finire del quindicesimo secolo, e le cui opere sono adesso rarissime. Egli studiò i dati di Euclide e, dalle nozioni elementari che vi si danno intorno a questo soggetto, procedette senza ulteriore aiuto, tranne quello del suo potente genio originale, a rintracciare e ad estendere i principii del sistema, e ad applicarlo alla soluzione di parecchi reconditi problemi. L'opera di Apollonio intitolata « *Sectio Rationis* » fu da lui conosciuta solamente in arabo; ma vedendone il pregio, come vegnente subito dopo i dati di Euclide nell'ordine di esposizione elementare della materia, formò il disegno di tradurla in latino, sebbene non appaia che lo mandasse ad effetto.

L'ordine della materia c'induce qui a far menzione che le sue tracce furono seguite (sebbene in tempi

posteriori) da Benedetto, matematico italiano, il quale continuò quest' investigazione e pubblicò un trattato di analisi geometrica a Torino nel 1585. Maurolico di Messina, il quale fiorì nella metà del secolo sedicesimo, e può essere riguardato come il gran geometra di quell'età, diede pure parecchie traduzioni degli antichi, arricchite di comenti; oltrechè scrisse un trattato di molto pregio sulle sezioni coniche. Tentò pure di ristaurare il quinto libro delle Sezioni Coniche di Apollonio, in cui è trattato il soggetto dei massimi e dei minimi. I suoi scritti indicano un uomo d'idee chiare e di forte intelletto; sebbene, al pari della maggior parte delle persone di quei tempi, credesse nell'astrologia e fosse anzi un adetto dell' arte.

Uno dei più illustri tra i primi coltivatori dell' algebra fu Lucas De Burgo, Francescano, il quale verso il finir del quindicesimo secolo viaggiò come Leonardo in Oriente, e vi fu istrutto nei principii di questa scienza. Al suo ritorno pubblicò un trattato su di essa, nel quale fa qualche progresso nell'arte della notazione; impiegando un maggior numero di abbreviazioni, ed in particolare facendo uso delle lettere *p.* e *m.* invece di *plus* e *minus*, ovvero dei simboli dell'addizione e della sottrazione: egli dà pure la regola pei segni della moltiplicazione. Quantunque Diofante (siccome abbiamo già detto) si fosse innoltrato sino a questo punto dell'algebra simbolica, tuttavia Lucas De Burgo vi giunse indipendentemente; perchè gli scritti di Diofante non furono scoperti prima della metà del sedicesimo secolo, in cui una traduzione latina delle questioni aritmetiche, fu pubblicata da Xilandro. Così l' origine della notazione algebraica fu semplicemente quella di una scrittura stenografica, o di un' abbreviazione del linguaggio,

ordinario per diminuire la fatica e le ripetizioni. Questo era il principio semplice, il quale venendo sempre più migliorato da ogni successivo scrittore, fu finalmente ridotto a quel sistema raffinato ed altamente artificiale di cui facciamo uso presentemente; e che alla sua volta è stato cagione d'indicare nuove relazioni di quantità e, da uno stromento fatto per aiutarci nel nostro lavoro, è divenuto veicolo a portarci dentro nuove regioni del vero. Possiamo adunque in generale osservare che, sino alla fine del quindicesimo secolo, i passi fatti per uscire dalle tenebre dell'età precedente furono, salve pochissime splendide eccezioni, limitati a ristauri dell'antica scienza e ad alcuni miglioramenti immediati direttamente nascenti da quelli. Tuttavia vi fu un principio e si pose un fondamento; e nel secolo seguente troveremo prove abbondanti della sua solidità nel sostanziale edifizio che cominciò ad esservi innalzato, e noteremo la rapidità e il buon successo con cui l'opera fu proseguita.

SEZIONE II

Scienza nel decimosesto secolo. — Primi gran miglioramenti moderni. — Scoperte di Copernico e di Ticone-Brahe.

Progresso dell'Algebra

La conoscenza dell'algebra era sin qui stata quasi intieramente ristretta a ciò che si era imparato per l'introduzione dei trattati orientali, nei quali, come abbiamo veduto, furono operati alcuni pochi miglioramenti più nella forma che nella sostanza. L'età seguente

offerse tuttavia un prospetto più attivo di ricerche, e le inquisizioni originali stendendosi con ardore in questa parte di scienza, nuove investigazioni furono continuamente fatte nei principii essenziali su cui le relazioni analitiche della quantità sono fondate.

Il primo soggetto che ferma la nostra attenzione nell'esaminare lo stato della scienza a questo periodo, è la teoria e la soluzione delle equazioni. Quelle del primo e del secondo grado, ovvero equazioni semplici e quadratiche, erano evidentemente e compiutamente capaci di soluzione in tutti i casi possibili. Ma si era da lungo tempo sentito che quando si tentava di sciogliere alcune equazioni di maggiori dimensioni, come per esempio quelle del terzo grado ovvero cubiche (siccome aderendo all'antica analogia geometrica ancora si chiamano), nessun principio generale, tranne in pochi casi ovvii, era stato stabilito che potesse menare ad una soluzione. A questo soggetto, i più antichi dei nostri algebristi diressero le loro ricerche.

Fra coloro che furono dei primi a lanciarsi nella carriera delle scoperte, e la cui fama sarà più durevole, dobbiamo porre Cardano nato a Milano nel 1501. Il suo carattere era uno strano misto di buono e di cattivo, di forza e di debolezza. Ad un grand'ingegno e ad una gran perseveranza univa il capriccio, la falsità e la vanagloria. E tale era la sua prevenzione per l'astrologia, che si lasciò morire di fame per compiere la predizione del giorno della sua morte.

Prima de' suoi tempi si era progredito assai poco nei tentativi di sciogliere le equazioni superiori al secondo grado, eccetto che, verso il 1508, Scipione dal Ferro professore di matematica a Bologna, aveva trovata una regola per risolvere uno dei casi delle equazioni

cubiche, la quale fu resa molto più generale da Tartaglia di Brescia, che tenne il suo metodo profondamente segreto. La curiosità di Cardano fu stimolata; e dopo molte sollecitazioni, e non senza essersi vincolato con giuramento a non divolgarla, riuscì a trarre dal Tartaglia la sua regola, sebbene senza dimostrazione. Cardano ne trovò presto la prova, ed estese la regola ad un'ampia classe di equazioni cubiche. La maggior parte del merito era pertanto sua; ma questo non lo può scusare di aver pubblicato il tutto (nel 1545) senza curarsi del patto solenne fatto col Tartaglia.

La scienza tuttavia ci guadagnò; e questo teorema conosciuto sotto il nome di « regola di Cardano » anche oggidì segna un punto oltre il quale nessuno sforzo degli algebristi ha potuto portare la soluzione delle equazioni cubiche: e per verità poco fortunate furono le loro ricerche nell'esatta soluzione generale delle equazioni di gradi superiori. Cardano indicò l'approssimazione alle radici di quelle equazioni cubiche che la sua regola non risolveva. Egli intese pure chiaramente alcuni dei principii fondamentali delle radici e la formazione dei coefficienti, quando esaminiamo sinteticamente le forme delle equazioni in generale. Questo debb'essere stato più difficile che non possiamo adesso imaginarci, a cagione dell'imperfezione del linguaggio algebraico. L'uso ordinario dei tempi era di mettere le regole in versi, e Cardano diede alla sua una veste poetica. L'inevitabile oscurità di questo metodo è dannosa al di là del vantaggio che arreca alla memoria; e certamente anche per questo rispetto una formola simbolica debbe di gran lunga preferirsi a qualunque versificazione.

L'algebra era nello stesso tempo coltivata in Ger-

mania. Stiphelius o Stifels in un'opera pubblicata su questa scienza a Norimberga nel 1544 impiegò esponenti interi numerici di potenze, tanto positivi quanto negativi; ed introdusse per *più* e *meno* gli stessi caratteri che adesso adoperiamo. Nelle equazioni non andò oltre il secondo grado.

Roberto Recorde inglese, circa lo stesso tempo, pubblicò il primo trattato sull'algebra in lingua inglese, in cui si trovi il segno di eguaglianza.

Le proprietà delle equazioni algebraiche furono lentamente scoperte. Pelitarius, o Pelletier matematico francese, in un trattato che porta la data del 1558, osservò il primo che la radice di un'equazione è un divisore dell'ultimo termine. Egli notò pure questa curiosa proprietà di numeri, che la somma dei cubi dei numeri naturali è il quadrato della somma dei numeri medesimi.

Bombelli, in Italia, scrisse sull'algebra; e mostrò che i problemi involventi il caso irreduttibile della regola di Cardano, ammettono una costruzione geometrica per mezzo della trisezione di un arco circolare. Egli parla pure di un manoscritto di Diofante esistente nel Vaticano, in cui l'invenzione dell'algebra è attribuita agl'Indiani. Nulla di ciò appare tuttavia nelle opere di Diofante che furono poscia pubblicate; e questo punto è rimasto senza spiegazione.

Fra i matematici del sedicesimo secolo niuno forse si è procacciato una più durevole fama che Vieta o Viète, nativo di Fontenoy chiamato da Riccioli grande ornamento della scienza francese. Egli era egualmente riguardevole per istudio e per originalità d'ingegno. Fece progredire la notazione algebraica coll'introduzione di lettere che tenessero il luogo tanto delle quan-

tità cognite, quanto delle incognite, di modo che si fu nelle sue mani che il linguaggio dell'algebra divenne primamente capace di esprimere verità generali. Egli diede una regola per risolvere alcuni casi di equazione di quarto grado. E nel caso di un'equazione di qualunque grado compiuta in tutti i suoi termini (vale a dire contenente in termini separati tutte le potenze della quantità incognita sino alla più elevata, da cui il grado dell'equazione è designato), e quando le radici sono tutte positive, egli scoprì la relazione fra le radici e i coefficienti dei termini. Così si faceva lentamente un altro passo verso la compiuta teoria.

Vieta non fu meno celebre pei miglioramenti che introdusse nella trigonometria; e nel suo trattato sulle sezioni angolari egli fece un' importantissima applicazione dell'algebra ai teoremi e ai problemi della geometria. Ristaurò alcuni dei libri di Apollonio in un modo che fa grand'onore al suo ingegno, ma che non si accorda precisamente col genio e con lo stile dell'autore. Rivolse pure la sua attenzione alle cose astronomiche, e sottopose a Clemente VIII un' idea di riforma del calendario. Si dice che componesse eziandio un'importante opera astronomica chiamata « *Harmonicon Coeleste* » la quale essendo da lui lasciata ad un amico, gli fu da qualche geloso e disonesto rivale carpita, e distrutta o soppressa. I suoi trattati matematici furono per la prima volta pubblicati intorno all'anno 1590, e poscia raccolti da Schooten in un volume nel 1646. Verso lo stesso tempo l'algebra andò di molto debitrice ad Alberto Girard, matematico fiammingo, quantunque la sua opera principale « *Invention nouvelle en algèbre* » non fosse stampata se non nel 1669. Questo ingegnoso autore vide molto più in là

che non aveva veduto Vieta, ma non ancora in tutta la sua generalità, il principio della formazione successiva dei coefficienti di un'equazione dalla somma delle radici; la somma dei loro prodotti presi a due a due, a tre a tre, ecc., sia che le radici siano positive o negative. Concepì pure l'idea delle radici imaginarie; e mostrò che il numero delle radici di un' equazione non può eccedere le sue dimensioni. A queste speculazioni ne aggiunse alcune altre connesse con l'uso delle radici negative nelle costruzioni geometriche, ecc. Fu pure il primo a introdurre la frase «una quantità minore di zero», che è stata così severamente censurata da alcuni matematici, i quali cavillano sulle parole senza considerare che allora solamente divengono soggetto di giusta censura quando il falso uso di un *termine* può produrre un errore nella *cosa*. Questa frase, necessariamente, non si riferisce a niente altro se non alla stessa concezione per cui le quantità negative hanno la loro origine, — il supposto accrescimento della quantità sottratta finchè diviene eguale e poscia superiore a quella dalla quale è da sottrarsi. Il valore variabile del tutto vien così detto *passare per zero*, e poi divenire *negativo*; o, in questo senso figurativo, *minore di zero*. Vale a dire, esso diviene una quantità che si scosta dalla prima ipotesi; ma che può ancora entrare nella nostra equazione, se cangiamo i segni di tutti i termini; ovvero, il che viene allo stesso, se i segni rimangono e se diamo luogo alla finzione di una quantità essenzialmente negativa. Questo è, in fatto, uno di quei semplici ma sottili artifizi che nascono dal linguaggio simbolico dell'algebra, il quale è stato così travisato da persone di corto intelletto, e ignorantemente copiato da un trattato all'altro, da divenire

avvolto in vera oscurità e dar argomento di serie accuse contro la scienza.

Il maggior passo in questa parte della scienza della quantità fu fatta da Tommaso Harriot, il quale nacque a Oxford nel 1560. Promosso ai gradi nell'università l'anno 1579, fu poscia impiegato nella seconda spedizione mandata da Sir W. Raleigh alla Virginia; e al suo ritorno pubblicò una notizia di quella contrada. Quindi si dedicò intieramente allo studio delle matematiche e dell'astronomia. La sua opera principale è intitolata « *Artis analiticae praxis* », e non fu pubblicata sin dopo la sua morte nel 1631. In quest'opera troviamo per la prima volta il compiuto sviluppo di una verità apparentemente assai semplice, alla quale Vieta, Girard ed altri che abbiamo nominati, si erano da lungo tempo andati approssimando; cioè la formazione di equazioni generali di ogni grado, per mezzo della moltiplicazione tra loro di altrettante equazioni semplici dell'ammontare delle loro dimensioni, o della più alta potenza della quantità incognita involta. Ciò naturalmente include il caso in cui uno o più di tali fattori è un' equazione di più alto grado che la prima, ma in cui, in generale, il numero dei fattori è tale che la somma delle loro dimensioni sia la dimensione dell'equazione risultante. Il lento progresso fatto nello sviluppo di questo principio, il quale, quando è compreso, non sembra essere di un genere molto astruso o difficile, è un fatto notevole nella storia delle scoperte. Si direbbe che questi operai della scienza erano andati lavorando con uno stromento che gradatamente perfezionarono senza ancora comprenderne tutta la forza. Egli è alla maggiore estensione data a questa forza, ed alla piena confidenza con la quale l'analista

può lasciarsi passivamente condurre dall'apparecchio che ha così messo in moto, che si debbono le grandi scoperte dei moderni.

Harriot introdusse un altro miglioramento di minore importanza nella facilità della notazione facendo uso di piccioli caratteri corsivi invece delle maiuscole che sin allora si erano adoperate, riducendo così la notazione quasi esattamente alla sua forma presente. Egli fu incoraggiato ne' suoi studi, e gli fu persino assegnata una pensione, da quel generoso protettore delle scienze e delle lettere, Arrigo Percy, conte di Northumberland (1).

Progresso dell'ottica, della meccanica, ecc.

Maurolico già citato come matematico era pur anche grandemente versato nell'ottica. Egli concepì l'uso della lente cristallina nell'occhio, ma non l'ufficio della retina; e l'applicazione delle lenti per rimediare tanto alla lunga quanto alla corta vista. Nella sua opera « *Theoremata de lumine et umbra* » (1575) egli dà una spiegazione del fatto osservato da Aristotile, che la luce del sole passando per un picciolo pertugio di qualunque forma, dà sempre uno spazio *circolare* illuminato su di un piano verticale posto a qualche distanza. I raggi delle diverse parti del disco solare si incrocicchiano all'apertura (che per esempio supporremo triangolare), e ciascun raggio dà un picciolo

(1) Si troveranno interessantissimi particolari de' suoi lavori analitici nel « Supplemento alle opere di Bradley » del professore Rigaud. Oxf. 1833, pp. 43, 52, ecc. De' suoi studi astronomici parleremo in altro luogo.

triangolo illuminato sul piano; questi essendo parzialmente soprapposti, ma ordinati nella forma del disco del sole, daranno un'imagine sensibilmente circolare; e tanto più accuratamente quanto più il pertugio sarà picciolo e il piano a maggior distanza.

Questo principio è precisamente quello della camera oscura nella sua più semplice forma, la quale fu inventata intorno il 1560 da Battista Porta che la descrisse in un'opera intitolata « *Magia naturalis* ». L'addizione posteriore di una lente all'apertura sostituisce solamente l'incrocicchiamento artifiziale dei raggi al centro della lente, e nello stesso tempo accresce la quantità della luce. Egli s'avvide, in generale, della somiglianza fra questa costruzione e quella dell'occhio; ma, per quanto sembri cosa straordinaria, non giunse a rintracciare il luogo dell'imagine e credè che la lente cristallina fosse la parte in cui è formata. In un certo passo si è creduto che anticipasse la scoperta del telescopio, ma un attento esame dimostra chiaramente che le sue parole non possono giustamente essere così interpretate. Egli fa menzione della riflessione del freddo nel fuoco di uno specchio concavo, cosa che viene stimata usando l'*occhio* invece del termometro. Questo singolarissimo suggerimento supporrebbe un progresso nelle specolazioni sulla natura del calorico, maggiore di quello che sembra appartenere a quell'età. Non appare se questo metodo sia stato attualmente provato o se sia un mero suggerimento; nè ai dì nostri ci risulta di alcuna cosa conosciuta che possa chiarire questo punto.

Quantunque una gran parte della « *Magia naturalis* » sia consacrata a sperimenti e ad invenzioni di natura frivola, tuttavia vi si scorge molta cognizione dei

principii scientifici. L'opera divenne assai popolare e fu tradotta in parecchie lingue. L'indole generale dei tempi era più favorevole alla diffusione del sapere, e la facilità che procurava la rapida moltiplicazione dei libri, cominciava a produrre i migliori effetti, illuminando la mente del pubblico. Porta era pure personalmente ben voluto, e la sua casa divenne il ritrovo dei curiosi e dei dotti; ma tutto questo eccitò la gelosia, e non solamente le opere del filosofo napoletano, ma anche le sue private riunioni divennero sospette. Non troviamo tuttavia che si procedesse ad alcun atto diretto di persecuzione; forse l'uomo ebbe cura di non darvi occasione.

Il dottore Gilbert di Colchester pubblicò un'opera sul magnetismo nel 1590, la quale contiene una copiosa collezione di fatti preziosi e d'ingegnosi raziocinii. Si può dire ch'egli ponesse il fondamento delle nostre cognizioni in questa parte di scienza, che è poscia stata estesa a tante nuove e sì importanti applicazioni.

Egli estese pure le sue indagini nel soggetto affine dell'elettricità e fece molti nuovi sperimenti sul suo sviluppo per eccitamento in diverse sostanze. La declinazione o deviazione dell'ago magnetico dal vero settentrione fu osservata da Sebastiano Cabot, e l'inclinazione da Guglielmo Norman prima di quest'epoca.

Quantunque non si sia forse direttamente occupato di scienza fisica, tuttavia come di oppositore vigoroso al sistema Aristotelico, che frapponeva ostacoli così formidabili all'avanzamento delle ricerche sperimentali, faremo qui menzione del celebre Pietro Ramus che nacque nel 1502, e divenne professore di filosofia nell'università di Parigi. In quel posto egli combattè coraggiosamente contro i dommi scolastici che incep-

pavano in modo così pernicioso l'energia della mente umana, e cotanto impedivano il progresso della verità. Questa sua condotta gli procurò naturalmente la nimicizia dei capi dell'università; e dinanzi un tribunale, che ottennero s' istituisse per regia autorità, fu giudicato e condannato. I suoi nemici appaiono aver esultato nel loro trionfo; ma gli amici suoi furono abbastanza potenti per procurargli un'altra cattedra, in cui sembra che la sua efficace eloquenza s' impiegasse nuovamente con grand'effetto a combattere le opinioni aristoteliche. Tuttavia lo stato di turbolenza in cui si trovava il paese, grandemente arrenò ogni studio filosofico; e Ramus dopo molti travagli perì nell' eccidio di San Bartolomeo l'anno 1571.

Girolamo Fracastoro verso il 1540 pubblicò un trattato *« De stellis »* in cui distintamente accenna il principio della risoluzione del moto; osservando che corpi aventi una tendenza a cadere direttamente verso il centro della terra, prendono un corso intermedio quando sono gettati trasversalmente a quella direzione.

Abbiamo veduto in una sezione precedente che la leva era la sola delle potenze meccaniche, la cui teoria fosse perfettamente stabilita presso gli antichi. L'equilibrio dei corpi per conseguenza non poteva essere investigato con buon successo se non in casi che a questa si riducevano. Abbiamo pure osservato che la dottrina del piano inclinato fu infelicemente tentata da Pappo. Non appare che si sia fatta altra investigazione sino al sedicesimo secolo, quando Cardano vide il problema sotto un aspetto più chiaro, sebbene ciò ch'egli disse intorno a questo soggetto non fosse altro che una plausibile congettura.

Guido Ubaldi, matematico italiano, tentò pure il pro-

blema dell'azione obbliqua delle forze nel 1577, ma con esito imperfetto. Egli prende particolarmente a considerare il conio; e paragonando la direzione in cui tende a produrre un movimento con la direzione nella quale il corpo sottoposto alla sua azione veramente si muove, osserva che fra queste due direzioni vi è « una certa ripugnanza » che è maggiore in proporzione che l'angolo del conio è più ottuso. Quindi deduce che il conio produrrà tanto più facilmente il suo effetto quanto sarà più acuto, ma senza ottenere l'esatta proporzione della forza. Egli osserva pure giustamente che la vite può essere considerata come un conio avvolto attorno a un cilindro.

Si è affermato che il problema del piano inclinato era stato sciolto da Giordano nel decimoterzo secolo, e che la soluzione è data nell'edizione delle opere del Tartaglia del 1565. Tuttavia la discussione è così vaga ed oscura, e così mescolata colle teorie peripatetiche, che non si può riguardare come una vera dimostrazione.

Colui che fu veramente il primo a risolvere il problema delle forze obblique su principii solidi fu Simone Stevin di Bruges, le cui opere furono pubblicate subito dopo il 1600. Egli non solamente dedusse correttamente la ragione della potenza al peso sul piano inclinato, ma sugli stessi principii risolvette forze in modo da ottenere il loro effetto in diverse direzioni, e sciolse una quantità di problemi importanti relativi a questa materia. Il principio del suo raziocinio fu assai semplice ed originale. Egli suppose una catena senza fine perfettamente flessibile ed uniforme, pendente da una parte pel piano inclinato e dall'altra giù pel suo lato perpendicolare, in modo da formare un

festone al disotto. Quantunque il movimento sul piano sia libero, egli concepì che questa catena si sosterrà sempre in riposo; la parte di sotto non potendo influire sul suo movimento. Quindi le parti pendenti pel piano e per la perpendicolare si sostengono le une le altre, e i loro pesi sono rispettivamente proporzionali a quelle lunghezze.

Queste investigazioni fanno che Stevin debba essere riguardato come il padre della statica moderna. Dopo che il piano inclinato fu investigato a questo modo, vari altri autori compierono le diverse parti del soggetto ampliando le conclusioni che risultavano dal principio della risoluzione delle forze.

A Stevin dobbiamo pure il primo suggerimento del principio fondamentale dell'idrostatica che la pressione dei fluidi è in proporzione alla loro profondità.

L'arcobaleno era sempre stato un oggetto di ammirazione ad ogni spettatore, ma ci volle assai tempo **prima che gli osservatori sapessero sino a qual grado quell'ammirazione doveva essere spinta, o si curassero di comprenderlo. Se è cosa imperdonabile il chiuder gli occhi ai più be' spettacoli della natura, siamo doppiamente colpevoli quando chiudiamo la visione della mente a quella più perfetta e più intima percezione di essi che la cognizione delle loro cause** ci procura.

Da coloro che furono curiosi di simili ricerche, si credette generalmente che l'arcobaleno procedesse in qualche maniera dalla luce riflessa dalle gocce della pioggia cadenti rimpetto al sole.

Maurolico suggerì che la luce passando attraverso la gocciola, in guisa da essere riflessa dalla sua parte posteriore, acquista in un modo o in un altro un

colore dalla refrazione. Ma non spinse più oltre quest' idea. Altri fecero supposizioni che tenderono soltanto ad imbrogliare la materia.

Antonio De Dominis arcivescovo di Spalatro si avvicinò grandemente ad una compiuta spiegazione. Avendo posto una bottiglia globulare piena d'acqua rimpetto al sole e al disopra del suo occhio, vide raggi colorati uscire dal disotto del globo; e i colori, diversi secondo che questo era più o meno elevato, erano nell'ordine dell'arcobaleno. Egli seguì correttamente il corso dei raggi refratti nell'entrare e nell'uscire dell'acqua, e riflessi nella parte posteriore. Lo stesso adunque doveva accadere in una goccia d'acqua globulare in una pioggia; quanto alla forma circolare dell'arco, si spiegava dal richiedersi invariabilmente lo stesso angolo per ciascun colore in un piano che passi per l'occhio, per la gocciola e pel sole. Ciò non pertanto la vera origine o legge di connessione fra la refrazione e il colore era totalmente ignorata. La spiegazione, per altra parte, si stendeva soltanto all'arco primario, ossia all'interno; nel tentare quella del secondario, gli sforzi dell'autore non ebbero un esito fortunato. Questa investigazione del De Dominis è tanto più riguardevole ch'egli non è conosciuto per alcun' altra scoperta scientifica. Egli ne pubblicò un ragguaglio in un'opera intitolata « *De radiis visus et lucis* » nel 1611. Tuttavia il suo trattato è in alcune parti così pieno d'errori che Boscovich lo chiama « *homo opticarum rerum supra id quod patiatur ea aetas imperitissimus* » — « uomo ignorante dell'ottica più ancora che la sua età non comporta ». Sentenza che sembra troppo severa contro un uomo che era stato il primo a proporre una spiegazione così per-

fettamente giusta e filosofica (per quanto si stendeva) di un fenomeno assai complesso. Che se era mancante in qualche particolare, l'autore possedeva tuttavia un amore filosofico della verità, di cui diede prove coll'indipendenza delle sue opinioni le quali lo assoggettarono ad un'acerba persecuzione. Egli cercò un asilo alla corte di Giacomo I d'Inghilterra nel 1616; ma tornato poscia in Italia, la persecuzione ripigliò vigore, e gettato in carcere vi morì, come si suppone, di veleno.

Copernico

Niccolò Copernico nacque a Thorn in Prussia nel 1473. Fece considerevoli progressi nelle scienze matematiche, studiando nell' università di Cracovia, ed eccitato da una lodevole emulazione della fama di Regiomontano si dedicò a proseguire e migliorare quelle scienze e particolarmente l'astronomia. Avendo studiato per qualche tempo nell'università di Bologna e poscia a Roma, la sua riputazione crebbe a tale che fu nominato professore di matematica in quella città; posto che occupò per parecchi anni con molto onore. Ritornato in patria, ed entrato negli ordini ecclesiastici, fu promosso ad un canonicato nella cattedrale di Warmia. Allora libero dai bisogni e dalle sollecitudini della vita, fece servire l'agiatezza di cui godeva al suo più legittimo e nobile oggetto, consacrandosi non solamente all'adempimento de' suoi doveri ecclesiastici, ma eziandio a quegli studi contemplativi e a quelle laboriose ricerche, le quali richieggono agio e solitudine e i cui frutti dovevano tornare a benefizio del suo secolo e della più remota posterità. Quantun-

que vivesse immerso ne' suoi studi, non ricusò in alcuna opportunità di prestare alla sua patria quei servizî che il suo ingegno lo metteva in grado di rendere, e fu grandemente utile nel regolare il conio delle monete e il calendario. La sua vita non ebbe vicissitudini, e morì universalmente onorato e stimato nel 1543, allorchè la pubblicazione della sua grand'opera « *De revolutionibus orbium coelestium* » era appunto terminata (1). Procederemo adesso a dare una breve notizia del contenuto di quest' opera e delle grandi e comprensive specolazioni nelle quali il suo sublime ingegno l'aveva portato ad internarsi.

Una continua meditazione del sistema dell'universo aveva fortemente persuaso Copernico della maggiore semplicità del sistema solare quale era stato originariamente proposto dai Pitagorici, in paragone della complicazione del Tolemaico, e della debolezza degli argomenti coi quali era sostenuto. Nella sua grande opera egli procedette a svolgere i suoi raziocini su questo soggetto.

La figura sferica della terra era stata generalmente ammessa: nacque allora la questione se fosse sospesa immobilmente nell'universo, come centro ai movimenti celesti, o se di necessità, come taluni mantenevano, andasse girando attorno a un altro corpo, per la supposta impossibilità di rimanersene senza sostegno. Le conclusioni di Copernico furono caute e deliberate. S'egli non fosse veramente superiore alle puerilità degli argomenti aristotelici, o se abbia scelto quello stile di raziocinio affine di poter meglio convincere

(1) Dopo la morte dell' autore si sono pubblicate edizioni di quest' opera sotto il titolo di « *Astronomia Instaurata* ».

coloro cui s'indirizzava, conformandosi ai loro pregiudizi, è cosa che può esser soggetto di discussione. Ad ogni modo, sebbene molti de' suoi argomenti siano giusti e assennati, tuttavia in parecchi casi egli s'avvolge in un labirinto di sottigliezze puerili degne del più devoto discepolo delle scuole.

Egli sostiene con gran chiarezza e con gran giustezza di raziocinio che se supponiamo la distanza della terra dalle stelle fisse essere infinitamente grande, paragonata con la sua distanza dal centro dell'universo, mentre al contrario questa distanza sia assai ragguardevole in paragone delle orbite dei pianeti, — allora tutti i fenomeni si spiegheranno egualmente bene, supponendo la terra rivolgersi sul suo asse da ponente a levante in ventiquattr'ore, ed avere inoltre un movimento di traslazione nella sua orbita, che se si supponesse la terra immobile, mentre il sole, i pianeti e le stelle fisse girano intorno ad essa.

Si ammetteva che la terra stessa era un mero punto in paragone della distanza delle stelle fisse, ma Copernico osservò giustamente che da ciò non seguiva la terra essere in riposo nel centro dell'universo; al contrario, dic'egli, sembra tanto più straordinario che una sì vasta circonferenza abbia a rivolgersi in ventiquattr'ore, piuttosto che la terra, semplice punto dentro di essa. Agli argomenti degli aristotelici e in particolare a quelli di Tolomeo sopra riferiti, Copernico rispose nel medesimo stile, allegando che il movimento della terra era di un genere naturale e non violento, e che i movimenti naturali non hanno effetti eguali ai violenti; questi tendendo a distruggere, quelli a conservare. Questo era un parlar loro nel loro proprio linguaggio, ma egli aggiunge molto più ragione-

volmente, che se l'argomento di Tolomeo ha in sè qualche forza, si dovrebbe applicare con tanto maggior ragione contro il movimento delle sfere celesti che debbe essere così infinitamente più rapido. Egli presenta in un modo assai convincente l'esempio del movimento apparente dei corpi, quando non ci avvediamo del vero movimento in noi stessi, come in una nave; e combatte l'idea aristotelica che il centro della terra sia il centro di gravità dell'universo, rappresentando la gravità non essere altro che la tendenza di parti a riunirsi e a incorporarsi nella forma di un globo; ed osservando esser cosa probabile che una simile tendenza esista nel sole e nella luna e negli altri corpi celesti, senza che questo gl'impedisca di descrivere le loro orbite rispettive. Spiega quindi distesamente il sistema solare, indicando il modo semplice ed appagante col quale rende ragione di tutti i movimenti apparenti dei pianeti, specialmente dei loro punti stazionari e dei loro moti retrogradi, quali sono veduti dalla terra anch'essa in movimento.

La credenza nella forma perfettamente circolare delle orbite celesti era un punto essenziale nel sistema peripatetico. Copernico in questo particolare non sembra essere stato superiore a' suoi predecessori, tenendolo come una verità necessaria; egli fu dunque obbligato a valersi degli epicicli per dar ragione delle deviazioni ovvie delle orbite dai circoli perfetti: il che tuttavia cagionava una leggerissima complessità in paragone di quella che nasce dalla loro introduzione per ispiegare tutti i movimenti retrogradi e tutte le irregolarità apparenti.

Ma il suo sistema era complicato senza necessità da una capricciosa ipotesi fatta per ispiegare la causa

della precessione degli equinozi; nè rinunziò alla teoria della trepidazione.

A malgrado di tutti questi difetti, il sistema di Copernico sarà sempre stimato siccome quello che dà, almeno in complesso, un'alta e corretta idea del gran sistema delle orbite planetarie. Esso era fondato sulla sola specie di argomento che si potesse addurre a quei tempi, vale a dire, che compiutamente spiegava i fenomeni rivelati dall'osservazione, e li spiegava con una semplicità infinitamente maggiore che non facesse qualunque ipotesi per l'addietro proposta. Alle obbiezioni tratte dalla fisica aristotelica si rispondeva compiutamente, e si difendeva pure il sistema con principii, che i suoi oppositori di quella scuola sarebbero lungi dal voler rigettare.

Copernico era egli stesso stato assiduo a fare osservazioni, e sappiamo dal suo comentatore Retico, che fu indotto ad abbracciare la dottrina pitagorica dalle sue osservazioni sul pianeta Marte, che gli mostrarono distintamente la notevolissima differenza nelle grandezze apparenti di quel pianeta in tempi diversi, dal che dedusse la posizione relativa delle orbite di Marte e della Terra. Fece pure questa singolare osservazione, — che *se il senso della vista potesse mai essere reso bastantemente acuto*, si vedrebbero fasi in Mercurio e in Venere.

Copernico fu prudente nel promulgare il suo sistema, ben conoscendo i pregiudizi che avrebbe da incontrare. Da principio le sue idee furono solamente partecipate per mezzo di carteggio privato e di amichevoli conversari. Però i suoi contemporanei non trovarono nulla che assalisse le loro prevenzioni o provocasse un'ostilità. Le opinioni che emanavano da

uno del loro corpo non eccitarono la gelosia del clero; anzi parecchi prelati incoraggiavano Copernico a pubblicare le sue ricerche. Finalmente il suo discepolo Retico stampò, nel 1540, una « Notizia di un manoscritto di Copernico ». Questa essendo accolta con favore, l'autore stesso fu indotto a proseguire nella pubblicazione della sua opera che dedicò al Sommo Pontefice, affinchè, dic'egli, l'autorità del Capo della Chiesa imponesse silenzio alle calunnie di coloro che lo assalivano con argomenti tratti dalla religione.

Non sappiamo nulla di positivo intorno a questi assalitori, e non è bene evidente se parli di obbiezioni fatte, o solamente temute. Certo è che queste non furono fatte dai capi della chiesa che erano suoi amici e protettori; ed egli non vi fa allusione se non di volo e anzi che no con disprezzo. Le opposizioni sistematiche a queste teorie dei movimenti celesti, per pretesa opposizione alle verità della rivelazione, cominciarono qualche tempo dopo.

Il sistema professato da Copernico ebbe a principio pochi fautori: ma il loro numero benchè picciolo comprendeva parecchi dei più eminenti filosofi di quei tempi. La testimonianza in suo favore era quella di pochi individui, ma questi erano i più atti a portarne giudizio; e l'approvazione della dottrina di Copernico data da uomini di tal fatta era equivalente ad un'estesa accettazione.

Tali erano Retico, già nominato, autore di un comentario sulle « Rivoluzioni » e di ampie tavole trigonometriche; Erasmo Rheinhold che migliorò le tavole astronomiche di Copernico, ed insegnò che l'orbita di Mercurio è elittica e che il *deferente* della luna è del pari elittico; Rothmann astronomo di Guglielmo Langravio di Assia; e Mæstlin maestro di Keplero.

Il Langravio di Assia è un rimarchevole esempio di un principe sovrano che si dedica alle fatiche dell'osservazione astronomica e compone un catalogo di stelle fisse (1560). Egli aveva per collaboratori Rothmann e Giusto Birgio che impiegò un grand'ingegno matematico a migliorare la costruzione degli stromenti astronomici di cui faceva uso il Langravio nello stupendo osservatorio da lui eretto a Cassel. Mæstlin era noto per parecchie investigazioni astronomiche. Egli si valse del principio della camera oscura per misurare il diametro apparente del sole gettandone l'imagine in un luogo privo di luce. Suggerì la spiegazione adesso generalmente ricevuta della debol luce visibile sulla parte oscura della luna, attribuendola alla luce riflessa della terra. Rothmann fu il primo a indicare l'errore di Copernico, relativo alla precessione degli equinozi e alla trepidazione qui sopra accennata; questo egli fece in una sua lettera a Keplero nel 1590.

Ticone Brahe

La metà del sedicesimo secolo, siccome abbiamo veduto, fu resa memorabile dalla pubblicazione della grand'opera di Copernico; il fine ne fu illustrato dalle scoperte di Ticone Brahe. Egli era nato nel 1546 da una famiglia nobile di Danimarca; e si dice che mentre era all'università di Copenhagen, l'avvenimento di un grande ecclisse solare nel 1560, abbia eccitato nella sua mente un desiderio irresistibile degli studi astronomici. Per essi abbandonò la giurisprudenza, e recandosi ad Augusta ispirò un pari amore della scienza a Pietro Hainzell ricco cittadino di quel luogo che, a sue proprie spese, eresse un osservatorio in cui Ti-

cone continuò i suoi lavori per parecchi anni. Nel 1570 tornò a Copenhagen e in una dimora presso quella città ebbe la fortuna di osservare in tutte le sue variazioni la splendida nuova stella che apparve nel 1572 in Cassiopea e sparì l'anno seguente. L'alta sua fama attrasse allora l'attenzione, e gli assicurò la generosa protezione di Federigo re di Danimarca, che gli assegnò una larga pensione, gli diede l'isola di Huene nel Baltico, e vi eresse uno splendido osservatorio che fu chiamato Uraniburgo. Quivi egli dimorò per vent'anni accumulando una collezione inestimabile di osservazioni, fatte con istromenti costrutti a dimensioni assai maggiori e in un modo assai più accurato che non si fosse mai tentato per l'addietro. Gli archi erano divisi in parti contenenti dieci secondi: i migliori che sin allora si fossero fatti non si stendevano a divisioni di altrettanti minuti.

Dopo la morte di Federigo, i nemici di Ticone indussero il ministro del suo successore a rivocare la donazione del defunto sovrano. Quindi fu costretto a cercar rifugio in altre contrade: e sotto la protezione dell'imperatore Rodolfo II (il quale sembra che lo abbia tenuto caro principalmente per l'aiuto che i suoi lavori darebbero all'arte astrologica) rinnovò le sue osservazioni a Praga. Ma la sua salute e il suo animo erano egualmente indeboliti; e alla fine soggiacquo dopo una lunga malattia nel 1601.

Nell'esaminare le sue scientifiche fatiche, troviamo che in sul loro cominciare, Ticone s'avvide chiaramente che la mancanza di misure accurate del tempo era il principal difetto nell'osservatorio. Egli provò successivamente vari mezzi e finalmente gl'imperfetti orologi che allora si costruivano, ma senza ricavarne

alcun vantaggio di rilievo. Prima della costruzione perfetta di orologi, gli astronomi erano costretti ad impiegare vari metodi di trovare le ascensioni rette, e quindi le longitudini delle stelle, per mezzo di osservazioni sulle loro distanze dal sole, il che si faceva con un paragone intermedio con la luna; o, secondo il suggerimento di Ticone, con Venere. Procurò di accrescere l'accuratezza dei cataloghi precedenti con numerose determinazioni di questo genere. Inventò pure il semplice metodo di trovare la latitudine di un luogo, osservando le altezze meridiane di una stella circompolare quando è sopra e sotto il polo. Investigò pienissimamente la correzione dovuta alla refrazione atmosferica, sebbene l'attribuisse piuttosto ai vapori che all'atmosfera medesima; e sbandì intieramente la trepidazione che aveva così lungamente disonorato le tavole astronomiche.

Nel paragonare le posizioni date da Ipparco con quelle del suo proprio catalogo di stelle fisse, Ticone fu guidato all'importante scoperta della lenta diminuzione dell'obbliquità dell'asse della terra, che è così graduale da non potersi scoprire se non col paragone di osservazioni a lontanissimi intervalli. La sua esistenza fu pertanto lungamente contesa, ma le osservazioni moderne l'hanno posta fuori d'ogni dubbio, e si è dimostrato ch'essa è una conseguenza della gravitazione.

Nella teoria della luna, questo infaticabile e dotto osservatore fece pure alcune scoperte rilevanti. Abbiamo fatto menzione di due ineguaglianze che erano note a Tolomeo. Ticone ne scoprì una terza chiamata *variazione*. Egli mostrò pure che v'ha un piccolo cambiamento periodico nell'inclinazione dell'orbita della

luna: e che un cambiamento periodico ha altresì luogo nel movimento de' suoi nodi.

Ticone argomentò sagacemente, da osservazioni sulla cometa del 1577, contro la dottrina aristotelica ricevuta, che le comete sono solamente meteore formate nella nostra atmosfera. Determinò la parallasse orizzontale della cometa, che era tale da provare che si muoveva al dì là dell'orbita della luna. Quindi conseguitava che gli spazi celesti non potevano essere occupati da sfere cristalline solide. Su questo punto fu violentemente assalito dagli aderenti della dottrina delle scuole; e i suoi avversari mostrarono chiaramente la debolezza della loro causa ricorrendo alle invettive ed anche ad una calunnia personale. La vera natura dei moti delle comete rimase da scoprirsi; quantunque tanto Ticone quanto Mæstlin proponessero teorie che involvevano epicicli.

Le ragioni per cui Ticone sfortunatamente disapprovava il sistema di Copernico erano in parte fisiche e in parte teologiche. Egli parla tuttavia di Copernico con la più alta ammirazione; e a lui si unisce pur anche a combattere le obbiezioni messe in campo da Tolomeo contro il moto diurno della terra. L'argomento per cui si persuadeva della fallacia della rotazione diurna era questo, che se si lascia cadere una pietra dalla cima di un'alta torre, essa dovrebbe giungere a terra assai indietro dal piede della torre, cosa che non accade. A questo Rothmann rispondeva, che una pietra è parte di tutta la massa, e che perciò partecipa del moto della terra.

Contro il moto annuo della terra, Ticone produceva l'antica e tante volte combattuta obbiezione della parallasse, per una compiuta risposta alla quale avrebbe

potuto essere rimandato ad Aristarco. Un altro argomento era derivato dall'erronea impressione ricevuta dall'occhio, che le stelle hanno un disco o una grandezza sensibile; e per avere una tale grandezza apparente, Ticone calcolava che se fossero lontane quanto suppone Copernico, il loro vero volume sarebbe maggiore di tutta l'orbita della terra. Si rispondeva non potersi dire che ciò non fosse. Se non che l'uso del telescopio ha poscia dimostrato che quest' idea è inesatta, le stelle non avendo dischi reali.

Le obbiezioni di alcuni teologi che sembravano così formidabili a Ticone contro l'ammessione del moto della terra, erano ricavate da certi passi della Scrittura in cui occorrono espressioni che attribuiscono moto al sole e riposo alla terra. Considerando lo stato delle cognizioni a' suoi tempi, non è da maravigliarsi che simili obbiezioni avessero un peso considerevole. Da una parte, dobbiamo rammentarci che la questione dei moti celesti non aveva ancora avuto alcuna soluzione dimostrativa; e dall'altra i lumi dell'età non erano ancora tali da dare un discernimento accurato nell'uso e nell'applicazione delle autorità che si producevano. La teoria filosofica non portava un pieno convincimento, e non si vedeva che l'uso dell'autorità della Scrittura che si faceva, era niente meno che una falsa applicazione. Quindi non dobbiamo esser sorpresi, che le due sembrando essere in opposizione, la prima fosse costretta a cedere alla seconda. Per verità, non è ben certo che anche oggidì tali questioni siano proposte nei loro veri termini. Il progresso dei lumi duranti più secoli non ha forse ancora (per l'universale del genere umano) presentato nel loro vero aspetto queste contraddizioni tra la lettera della Scrittura e i risul-

tamenti della scienza. Ma di questo vedremo esempi più istruttivi in appresso. Torniamo ora a Ticone, il quale, piena la mente del peso di queste obbiezioni, rivolse l'animo a formare un altro sistema col quale si potessero evitare.

Egli suppose che i cinque pianeti girassero intorno al sole, mentre il sole, portando questo sistema con sè, girava intorno alla terra immobile nel centro, come girava pure la luna ad una minor distanza. Senza dubbio questo sistema poteva bastare sino a un certo punto a spiegare gli attuali moti apparenti, per quanto era allora stata spinta l'accuratezza delle osservazioni. Esso è in fatto una modificazione del principio degli epicicli; e se fosse stato proposto prima del sistema di Copernico, avrebbe potuto essere giustamente riguardato come un passo nel progresso della semplificazione e del miglioramento. Ma venendo dopo il suggerimento di quella teoria, che porta l'impronta della grandezza e della semplicità della natura, non può non essere riguardato come un movimento manifestamente retrogrado. Esso è pur troppo una prova non solamente della debolezza ma dell'ostinazione della mente umana; non solamente di una ritrosia nella ricerca della verità, ma di un infelice rinnegamento di essa quando ci sta già nelle mani.

Il carattere di Ticone presenta una singolare mescolanza di acume e di debolezza. Egli fu un fermo sostenitore dell'astrologia e scrisse in sua difesa; credeva ai presagi e regolava persino la sua condotta secondo questi avvertimenti. Nello stesso tempo la sua condotta offre molte prove di un animo liberale e generoso; e perciò non possiamo non riguardarlo come pienamente meritevole del rispetto in cui fu generalmente tenuto.

Riforma del Calendario

Il periodo di cui abbiamo ora parlato vide farsi un'operazione di qualche interesse generale, la riforma del calendario ordinata da Gregorio XIII nel 1582. Abbiamo già indicato con quali mezzi si fosse tentato di far corrispondere gli stessi giorni e mesi nominali con le medesime stagioni fisiche, e la necessità di così fare, per la circostanza che l'anno solare non è misurato da un numero esatto di giorni. La correzione Giuliana che intercalò un giorno ogni quarto anno, fece l'anno del calendario più lungo di circa undici minuti che il vero anno solare. Questa differenza accumulandosi ogni anno era giunta nell'anno 1582 a quasi undici giorni. Quindi l'equinozio che ai tempi di Giulio Cesare cadeva al 21 di marzo, avveniva allora ai 10. La riforma Gregoriana aveva due oggetti in vista: il primo era quello d'impedire l'accumulazione della differenza in avvenire, ordinando che l'ultimo anno dei tre primi secoli in ciascuna serie di quattro (il quale sarebbe stato bisestile) fosse anno comune, rimanendo bisesto il quarto. Questo riduce la differenza ad un ammontare quasi insensibile: e per renderla compiutamente tale, Laplace ha poscia suggerito di lasciare che l'anno 4000 sia comune. Il secondo oggetto era di restituire l'equinozio al 21 di marzo, per poterne regolare le solennità della Chiesa e particolarmente la Pasqua. Quindi l'ordinamento che si chiama Nuovo Stile, per cui si data da undici giorni innanzi; ciò che era il 10 di marzo essendo adesso chiamato il 21. Questo diede luogo ad una gran confusione; gli stati che non riconoscevano l'autorità

pontificia, ricusarono di ricevere questa riforma, e due stili lungamente prevalsero. Finalmente fu ricevuta dall'Inghilterra nel 1751; ma la Russia sinora non l'ha accolta.

SEZIONE III

Scoperte di Keplero e di Galileo

Nell'ultimo periodo di tempo di cui abbiamo trattato, abbiamo avuto occasione d'indicare i progressi che cominciavano a farsi nel sedicesimo secolo nelle varie parti della scienza astratta di quantità e della sua applicazione ad alcuni dei fenomeni del mondo naturale. Abbiamo pure veduto il principio di una rivoluzione nelle opinioni intorno a soggetti filosofici, cominciando a manifestarsi un'opposizione contro i dommi aristotelici, ed una crescente inclinazione a ricorrere allo sperimento ed all'osservazione come il solo legittimo fondamento di ogni teoria. Trovammo che il gran problema del sistema del mondo occupò l'attenzione di due filosofi di primo grido, ma uno di questi, sebbene lavorasse nell'osservatorio ad ottenere misure accurate dei fatti, non abbracciò poi una teoria abbastanza comprensiva; l'altro ne scelse felicemente una appagante, ma la sostenne soltanto con argomenti tratti dall'analogia, dalla probabilità e dalla dimostrata insufficienza delle vecchie ipotesi. Rivolgiamo adesso la nostra attenzione ad una serie di scoperte in cui troveremo la vera teoria appoggiata ad una ferma base di fatti ed alla concordanza delle osservazioni.

Keplero

Giovanni Keplero nacque a Weil nel ducato di Wirtemberg il dì 21 di dicembre del 1571. Di debole salute fin dal suo nascere, si disperò più volte della sua vita: tuttavia continuò a far considerevoli progressi negli studi, tanto alla scuola di Maulbronn, quanto al collegio di Tubinga, sotto la direzione di Mæstlin. Quivi, secondo ch'egli stesso minutamente racconta (1), occupava il tempo nell'ardente proseguimento di certe specolazioni astronomiche, che mostrano a un tratto la fertilità della sua imaginazione, e l'infaticabile perseveranza con cui attendeva alle più laboriose minutezze di calcolo richieste da tali teorie, le quali poi, venendo a risultare senza fondamento, erano da lui senza dubitazione rigettate.

Intanto aveva acquistato una riputazione, che fu cagione della sua nomina alla cattedra di astronomia di Gratz. Colà negli intervalli lasciatigli dai doveri di professore, continuava le sue ricerche con indefesso ardore. « V'erano particolarmente tre cose, dic'egli, di cui cercava pertinacemente le cause per cui non sono altrimenti di quello che sono: il numero, la grandezza e il moto delle orbite ». La semplicità del sistema di Copernico gli piaceva grandemente, ed era perciò ansioso di trovar relazioni numeriche fra i suoi elementi, essendo fermamente persuaso, che qualche astruso principio di armonia di numeri regnava in tutta

(1) Il suo carteggio pubblicato ci somministra molti curiosi particolari intorno ai suoi studi. Nella vita di Keplero del Drinkwater si troveranno molte citazioni di autorità originali.

la natura, e regolava le proporzioni di tutte le sue parti. Propose, provò e rigettò, l'una dopo l'altra, ogni sorta di relazione numerica che potè imaginarsi. « A malgrado de' tentativi continuamente infelici, soggiunge Keplero, io era in qualche modo confortato, e le mie speranze erano sostenute, tanto da altre ragioni che in breve saranno accennate, quanto dall'osservare che in ogni caso i moti sembravano esser connessi con le distanze, e che quando vi era una gran lacuna fra le orbite, lo stesso accadeva fra i moti; ed io argomentava che se Dio aveva adattato i moti alle orbite in qualche relazione colle distanze, era probabile che avesse pure ordinato le distanze medesime in relazione con qualche altra cosa ».

E lungi dall' essere nostra intenzione di seguitare Keplero nel vasto numero di specolazioni che intraprese su questo soggetto; noi ci contentiamo di accennarle come indicazioni mirabili dello spirito e della natura del suo metodo di filosofare e come illustrazioni dell'indole delle sue investigazioni. La teoria che più gli andava a genio, e che, sebbene considerevolmente si allontanasse dai risultamenti osservati, credeva tuttavia differire soltanto per errori di osservazione, era una costruzione geometrica, che determina le proporzioni delle orbite, inscrivendo successivamente in esse i cinque solidi regolari, ogni sfera essendo condotta a toccare internamente i lati del solido inscritto nella precedente. Questo, con alcune altre teorie supplimentari, forma la sostanza del suo « Mysterium cosmographicum », 1596.

Nel 1597 passò da Gratz nell' Ungheria, e poscia visitò Ticone a Praga. Sembra che a cagione di alcune dissenzioni rinunziasse poco dopo alla sua cattedra di

Gratz. Trovatosi quindi in gravi strettezze, la generosità di Ticone venne in suo soccorso, e fu nominato suo assistente nell'ufficio di matematico dell' imperadore Rodolfo. Egli lavorò con Ticone alla formazione di nuove tavole astronomiche che l'imperadore incoraggiava quasi al solo oggetto di farle servire all'astrologia, e che dovevano pubblicarsi con magnificenza sotto il titolo di « Tavole Rodolfine ». Lomberg (o Longomontano), già assistente di Ticone, si era ritirato in Danimarca, chiamatovi ad una cattedra di astronomia; perciò Keplero si trovò ad aver da discutere le osservazioni di Ticone, e più specialmente quelle sul pianeta Marte. Quest'opera fu tuttavia interrotta dalla morte di Ticone, alla quale Keplero succedette alla carica principale da quello occupata. Egli proseguì allora le sue proprie osservazioni, ed in particolare ebbe l'opportunità di esaminare la nuova stella che nel 1604 comparve nel Serpentario. In quel tempo entrò pure largamente in discussioni sul merito dell'astrologia, nella quale sembra che credesse sotto certe modificazioni, ma è cosa piuttosto difficile l'indovinar precisamente quali fossero le sue opinioni, a cagione dello stile straordinario in cui sono espresse.

La sua nomina al servizio dell'imperatore, a quel che pare, fu accompagnata da una difficoltà costante di ottenere il pagamento della pensione. Questo interruppe la pubblicazione delle « Tavole Rodolfine »; ma intanto ei diede alla luce un trattato sulle comete e le *Paralipomena in Vitellionem* nel 1604, opera che contiene molte idee originali, sebbene mescolate con parecchie speculazioni visionarie. Havvi in essa indubitatamente l'impronta del genio; ma, simile a molti altri suoi scritti, è in gran parte eccessivamente noiosa per la minutezza

con cui dà ragguaglio di tutta la serie delle sue investigazioni. Essa contiene due principali ricerche interessanti; una relativa alla struttura dell'occhio, l'altra alla legge di refrazione.

Nel 1609 Keplero pubblicò quella grande e straordinaria sua opera intitolata « Trattato sui movimenti del pianeta Marte ». Egli si era occupato interrottamente di questo soggetto sin dal principio del suo impegno con Ticone; e la determinata perseveranza con la quale lavorò attorno ai più improbi calcoli aritmetici, non è forse meno sorprendente del potente ingegno che cotanto risplende nel felice proseguimento di una così ardua ricerca, o dell'imaginazione maravigliosamente feconda, la quale era sempre pronta a formare una nuova teoria da sottomettere alla prova quando l'ultima era stata trovata insufficiente. Questo volume contiene effettivamente lo sviluppo di due di quelle gran leggi delle orbite planetarie, per cui il nome di Keplero divenne immortale, e che sono il fondamento di tutto il sistema di Newton. L'autore sembra pienamente persuaso della importanza dell'opera che intraprende; e memore dei pregiudizi che si erano spiegati alla promulgazione del sistema di Copernico e della teoria di Ticone, introduce il suo soggetto con le seguenti enfatiche parole:

« Se alcuno sarà di così scarso ingegno da non poter comprendere la scienza dell'astronomia, o sarà di mente così debole da non poter credere in Copernico senza pregiudizio della sua pietà, io lo debbo consigliare ad abbandonare le scuole astronomiche. Condannando, se così gli piace, una o tutte le teorie dei filosofi, badi ai suoi propri interessi, e lasciando queste mondane fatiche, se ne torni a casa a coltivare i suoi campi. E quante volte egli alzerà a questo bel cielo quegli occhi

coi quali soli gli è dato di vedere, mandi fuori dal suo cuore ringraziamenti e lodi a Dio creatore, senza timore che la sua adorazione abbia ad essere meno accettevole che non quella di colui cui Dio ha concesso di vedere ancor più chiaro cogli occhi della mente, e che ha il potere e la volontà di lodare il suo Dio per ciò che è giunto a scoprire ».

Nell'introduzione dell'opera l'autore discute lungamente le opinioni ricevute intorno alla gravitazione; e dopo di aver esposto molte parti del sistema Aristotelico, spiega la sua opinione di esso in termini notevolmente energici e perspicui. Fra le altre illustrazioni della sua natura e delle sue leggi troviamo la seguente:

« Se la luna e la terra non fossero trattenute nelle loro orbite dalla loro forza animale o da qualche altro equivalente, la terra s'accosterebbe alla luna di una cinquantesimaquarta parte della loro distanza, e la luna piomberebbe verso la terra per altre cinquantatre parti, e così s' incontrerebbero, supponendo tuttavia che la sostanza di entrambe sia della medesima densità. Se la terra cessasse di attirare a sè le sue acque, tutto il mare s'innalzerebbe e scorrerebbe verso il corpo della luna ».

Quindi procede ad un esame generale delle maree e di altri fenomeni dipendenti dalla gravitazione. In questo modo si enunciò una teoria che era ancora una mera ipotesi, e che le future scoperte dovevano confermare; teoria data nella medesima opera la quale conteneva l'esposizione delle leggi delle orbite planetarie, ma enunciate senza la menoma idea di connessione fra loro. Tuttavia questi due soggetti, toccati nella stessa opera, ma non ancora creduti avere la più lontana relazione l'uno coll'altro, dovevano in breve essere collegati nella più intima unione, e somministrar prove

l'uno a favore dell'altro, e per tutto il sistema tanto dei moti celesti quanto di quelli che accadono sulla superficie della terra.

Nella parte principale dell'opera Keplero procede a discutere l'orbita di Marte. Le osservazioni di Ticone avevano determinato i movimenti di quel pianeta con una grandissima accuratezza; e Keplero presto trovò che le sue ineguaglianze di moto differivano d'assai da tutto ciò che potesse rappresentarsi con un sistema di epicicli, come erano ordinariamente costrutti. Egli adunque con una diligenza quasi incredibile calcolò e ricalcolò un nuovo sistema dello stesso genere, in cui per qualche tempo credette di essere felicemente riuscito; ma alcuni paragoni ulteriori gli dimostrarono che s'avviluppava soltanto in errori di un altro genere. Non prima, tuttavia, si vide mancare quest'ipotesi, s'ingolfò in nuovi computi proseguendo una nuova costruzione; e in questo caso fu condotto da una concatenazione e da una combinazione singolare d'idee ad una di quelle vere leggi che divennero poscia la base dell'astronomia fisica.

Il suo oggetto era d'investigare la vera forma dell'orbita di Marte, dai movimenti di quel pianeta osservati dalla terra, anch'essa in movimento. Quindi era necessario di distinguere quella parte apparente dell'ineguaglianza del movimento del pianeta, che è cagionata dalla ineguaglianza del movimento della terra nella sua orbita.

Considerando adunque l'orbita della terra come circolare, dopo molte prove laboriose, finalmente dedusse una rappresentazione tollerabilmente esatta della legge del movimento della terra nella sua orbita, supponendo l'orbita essere descritta intorno al sole, il quale *non* è posto nel centro, ma in un punto dal quale, se si trar-

ranno linee a punti successivi nella circonferenza, le aree dei settori formati da queste linee e dalle porzioni intercette della circonferenza saranno sempre proporzionali ai tempi nei quali quelle porzioni sono descritte; la qual cosa, in altri termini, è chiamata legge della *descrizione equabile delle aree.*

Considerando l'orbita come circolare, egli suppone quello che è quasi esattamente vero per la terra. Procedendo nelle sue investigazioni relativamente a Marte, egli non poteva sgombrare il soggetto da quelle difficoltà che nascevano dalle ineguaglianze del movimento della terra; e presto s'avvide che nessun'orbita circolare rappresenterebbe quella di Marte, nè la descrizione equabile delle aree intorno a un punto dentro il circolo, verrebbe a rappresentare il suo movimento. Allora pensò che la forma potrebbe essere elittica od ovale. Ma molte ipotesi sussidiarie erano ancora da essere formate, e successivamente rigettate, prima che la semplice dottrina di un'orbita elittica potesse realmente essere stabilita. Il quadro che Keplero ci presenta delle operazioni della sua mente, mentre era intento a questa ricerca, è pieno del più alto interesse. Sarebbe impossibile, senza entrare in particolarità matematiche, lo spiegare il modo col quale il finale suggerimento venne a cadere sotto la sua considerazione; come pure non si può dare un' idea dell'immensa massa di calcoli, per entro alla quale faticò nel mettere ciascuna delle sue successive teorie alla prova, per assicurarsi che concordassero con le osservazioni. Finalmente dopo lunghe fatiche, alternativamente proseguite tra l'esultazione di uno sperato trionfo, e l'amaro dispiacere di veder svanire l'una dopo l'altra le sue teorie, riducendolo quasi, siccome

egli dice « alla pazzia », egli ebbe l'immensa soddisfazione di trovare che *un' orbita elittica descritta intorno al sole in uno dei fuochi*, concordava perfettamente coi movimenti osservati del pianeta Marte. Questa è chiamata la prima legge di Keplero. La sua gioia non ebbe limiti — il suo stesso diagramma fu delineato coll'emblema della Vittoria in un angolo. Trovò pure immediatamente che la sua prima illazione delle aree equabili nell'orbita circolare era soltanto un caso approssimativo della legge, che è accuratamente vera, del movimento in un'orbita elittica intorno al fuoco; e la sua seconda legge è annunziata con dire, che *il raggio vettore dell'orbita elittica descrive aree eguali in tempi eguali*. Una terza di eguale importanza venne scoperta posteriormente.

Relativamente alla seconda legge, divenne un punto rilevante il trovare qualche metodo di determinare gli archi dell'elisse, che corrispondono ad eguali aree di settori. Keplero, nel proporre questo punto all'attenzione dei geometri, mostrò di credere che non se ne potesse ottenere un'esatta soluzione. Da quel tempo i migliori matematici ne fecero uno studio particolare, e se ne trovarono soluzioni per mezzo di serie spinte a grandissime approssimazioni. Esso è conosciuto per distinzione sotto il nome di problema di Keplero.

La difficoltà di calcolare il luogo di un pianeta, che Keplero confessava non aver mezzo di vincere, fu opposta da' suoi avversari come un'obbiezione seria al suo sistema, quasi che dovesse rispondere delle operazioni della natura.

Finalmente tutti i piani delle orbite planetarie, si supponevano da Tolomeo passare per la terra. Copernico non andò tant' oltre da rigettare quest' idea. Keplero

dimostrò che passavano tutti pel sole, e che le linee dei loro nodi s'intersecano nel centro di quel luminare.

Nel 1611, Keplero pubblicò la sua Diottrica, in cui fece nuovi sforzi per investigare la legge della refrazione, ma senza giungere ad un perfetto successo. Egli ne conobbe l'importanza, particolarmente per la sua connessione con la teoria delle lenti, che era allora un oggetto di attenzione siccome relativo alla costruzione del telescopio. Le sue investigazioni sono tuttavia affatto indipendenti dalla loro applicazione, della quale si parlerà a suo luogo. Egli tentò di dedurre la connessione fra gli angoli d'incidenza e di refrazione. Nel caso del vetro, trovò per esperimento, che questi angoli, quando sono di un qualche picciolo valore, conservano *sempre* a un dipresso il rapporto di tre a due. Questo bastava per l'immediato oggetto di trovare la lunghezza del fuoco di una lente, quando gli angoli d'incidenza sono praticamente compresi dentro ristrettissimi limiti.

Le matematiche non erano ancora abbastanza inoltrate per fare ch'egli arrischiasse l'ipotesi congetturale, che immediatamente si sarebbe presentata ad un matematico moderno, di passare dall'arco al seno, e di provare se quella relazione era la stessa in altri casi.

Sotto la stessa limitazione della picciolezza dell'angolo d'incidenza, egli fece parecchie altre utili applicazioni della medesima legge di approssimazione.

Della refrazione astronomica o atmosferica aveva un'idea molto più corretta che i suoi predecessori; egli imaginò che si estendeva dall'orizzonte allo zenit, e diede pure una legge approssimativa per esprimere la ragione del suo decremento.

Suggerisce per incidente l'idea, stata poscia così pienamente verificata, che l'aria è una sostanza avente un peso; e che il potere refrattivo varia con la temperatura. Ed osserva parimente, che durante un ecclisse lunare la superficie della luna è ancora illuminata da raggi refratti nel loro passaggio attraverso l'atmosfera della terra.

Se v'ha alcuna cosa nella scienza matematica che personalmente riguardi ogn' individuo, la costituzione dell'occhio è quella che debbe eccitare il più intenso interesse. Abbiamo osservato i passi che da Maurolico e da Battista Porta furono fatti verso l'investigazione del modo in cui si opera la visione; il primo scoperse quasi il segreto; e il velo che ancora nascondeva una parte essenziale della verità al filosofo napoletano era sottilissimo, sebbene per lui sia stato impenetrabile. Questo velo fu rimosso, e la totale scoperta della verità è dovuta a Keplero, il quale alla gloria di trovare le leggi del sistema planetario, aggiunse quella di essere il primo ad analizzare tutto il disegno della natura nella struttura dell'occhio. Egli vide l'esatta somiglianza di quest' organo con la camera oscura; dei raggi che entrano nella pupilla, i fascetti separati che partono da tutti i punti dell' oggetto s'incrocicchiano al centro della lente cristallina, e sono tutti portati ai loro fuochi rispettivi nell'umor vitreo, il cui potere refrattivo, paragonato con quello della lente, è precisamente così regolato, che la distanza focale debbe coincidere con la massima esattezza con la posizione della retina, e qui la successione di quei punti luminari dipinge una imagine capovolta di oggetti esterni. Ma qui pure, per un'altra legge, in qualunque direzione un raggio cada sulla

retina, noi con un giudizio d'istinto lo riferiamo ad un oggetto in quella direzione: quindi il raggio che viene in giù, o che cade sulla parte inferiore della retina, è da noi riferito all'insù, od alla parte superiore dell'oggetto; o per dirlo in altre parole, vediamo gli oggetti diritti. Allorchè abbiamo seguito l'operazione sino all'imagine nella retina, siamo giunti al limite cui l'ottica ci può condurre. La fisiologia potrà ancora mostrare se vi sia qualche azione particolare del nervo connessa con la visione; ma i confini tra l'impressione fisica e la percezione mentale non saranno probabilmente mai varcati.

Intanto le cose di Keplero continuavano ad essere come prima nella stessa infelice condizione; sebbene alla morte dell'imperatore Rodolfo fosse confermato nel suo posto di matematico imperiale, sotto il suo successore Mattia: e nello stesso tempo fosse nominato ad una cattedra nell'università di Lintz nel 1612. Ma oltre alle strettezze pecuniarie, egli era allora travagliato da afflizioni domestiche per la morte prima di un figlio, e poscia della moglie; benchè paia che la sua solita forza di spirito lo facesse presto risorgere da quello scoraggiamento, poichè troviamo ch'egli dà un minuto, caratteristico e piacevole ragguaglio della sua scelta di una seconda moglie.

La sua nuova residenza a Lintz non fu lungamente tranquilla; egli ebbe a lottare col clero, ma non appare esattamente sino a qual punto la questione si riferisse alle sue filosofiche specolazioni. Colà fu che i suoi pensieri si rivolsero particolarmente alle investigazioni geometriche; e per la circostanza accidentale di avere osservato gli errori di uno stazatore ignorante nel misurare alcune botti di vino, fu con-

dotto a investigare il soggetto del misuramento dei solidi; cosa che diede origine ad alcune specolazioni, le quali divennero poscia più particolarmente importanti.

Keplero pubblicò, nel 1615, un opuscolo sulla stereometria, in cui si propose il misuramento del volume di molti solidi, che non erano ancora caduti sotto l'esame dei matematici; quali erano per esempio i solidi generati dalla rivoluzione di una curva non intorno al suo asse ma su di una linea qualunque. Questo inchiudeva solidi formati dalla rivoluzione di un arco di una curva intorno la sua *corda*, i quali sono precisamente della forma di botti e di altri vasi, di modo che l'investigazione aveva un oggetto pratico immediato, e quello di dar regole per la stazatura. Keplero propose una gran varietà di questi solidi alla considerazione dei geometri: e benchè non potesse egli medesimo sciogliere se non un picciolissimo numero dei più semplici di que' casi, tuttavia nel far questo, e nell'aver ricorso a ciò che realmente era il metodo dei limiti, trovò il mezzo di evitare una gran parte del tedio delle operazioni antiche, introducendo la fraseologia delle quantità *infinitamente* piccole. Concepì che un circolo fosse composto di un infinito numero di triangoli aventi il loro vertice comune al centro, mentre le loro basi infinitamente piccole erano porzioni della circonferenza. Era la medesima cosa che il metodo già indicato di Archimede, ed assegnava l'area nella medesima maniera.

Nel 1619 Keplero ristampò il suo *Mysterium cosmographicum*; e quasi nello stesso tempo pubblicò la sua opera sulle Armonie. Questa nuova edizione, deliberatamente intrapresa, de' suoi sogni giovanili ci

potrebbe sorprendere, se la seconda opera sovr'accennata, scritta negli anni maturi, non agguagliasse in tutto l'altra nella sua stravaganza. Non tenteremo nemmeno di fare un'enumerazione delle cose contenute in questa miscellanea, ma prenderemo soltanto occasione di accennare quanto stranamente alcuni lampi di vero genio e di verità filosofica qua e là sfolgoreggino nel mezzo di quel caos. Nel corso di una specolazione sulla ragione per cui l'ettagono non è impiegato nella costruzione dell'universo, l'autore dice per incidente che « la radice di un'equazione che non può accuratamente trovarsi, può tuttavia rintracciarsi con un alto grado di approssimazione da un esperto calcolatore ». Egli spiega le sue idee sull' astrologia, e mentre fortemente condanna le assurdità della credenza volgare, tenta di sostituirvi un sistema d'influenze celesti, in cui seriamente rappresenta la terra come un enorme animale vivente, in cui le maree sono l'atto della respirazione, e le cui simpatie vitali sono eccitate dalle configurazioni dei pianeti. Nelle « squisitissime armonie », come le chiama, « dei moti celesti », egli rappresenta Saturno e Giove come bassi, Marte come tenore, mentre la Terra e Venere sono contralti e Mercurio soprano. Rigetta con qualche inconseguenza la teoria, che almeno era raccomandata dalla sua bellezza poetica, ed era ricevuta da parecchi astrologi, che ciascun pianeta ha il suo angelo guardiano che ne regola i movimenti; e senz'altro si riferisce al moto elittico, il quale, secondo che osserva, « ha piuttosto della natura della leva, e di una necessità materiale ». Egli è in mezzo a queste stravaganze, e in una discussione sul punto, se i pianeti siano naturalmente leggeri o pesanti, che l'autore annunzia la sua

scoperta della terza gran legge delle orbite planetarie: egli ne parla in termini del maggior entusiasmo, come del gran compimento de' suoi desideri e delle sue fatiche: all'investigazione della quale aveva consacrata tutta la sua vita, e che supera tutte le armonie delle sfere celesti. In fatto egli era entrato in questa investigazione siccome cosa connessa coll'idea delle armonie.

« Grande, dic' egli, com' è l' assoluta natura delle armonie con tutti i suoi particolari, siccome è spiegato nel mio terzo libro, ella si trova tutta fra i movimenti celesti; non per verità nella maniera che io m' immaginava (e questa non è la minor parte del mio diletto), ma in un' altra assai differente e tuttavia perfettissima ed eccellentissima. Sono adesso diciotto mesi che vidi il primo barlume di luce, sono tre mesi che è spuntata l'aurora, e pochissimi giorni sono scorsi dacchè il sole, mirabilissimo a guardarsi, mi si è rivelato in tutto il suo splendore. Nulla mi trattiene: voglio abbandonarmi al mio sacro furore: voglio trionfare del genere umano con l'onesta confessione che ho rubato gli aurei vasi degli Egiziani (1), per edificare un tabernacolo al mio Dio lungi dai confini dell'Egitto. Se mi perdonate, me ne rallegro; se andate in collera, lo posso sopportare; il dado é gettato; il libro è scritto; che sia letto adesso o dalla posterità, non me ne curo; posso bene aspettare un lettore per un secolo come Dio ha aspettato un osservatore per 6,000 anni »..... « Se bramate di conoscere il preciso momento, la prima idea mi venne gli 8 di marzo di quest'anno 1618; ma avendo per caso fatto

(1) Allude all' opera di Tolomeo sulle Armonie.

un errore di calcolo, la rispinsi come falsa. Vi tornai con maggior forza il dì 15 di maggio; ed essa ha dissipato le tenebre della mia mente, con un tale accordo coi miei diciassett'anni di lavoro sulle « Osservazioni di Brahe » che a principio credei di sognare o di aver preso il mio risultamento per concesso nelle mie prime supposizioni. Ma il fatto è perfetto, il fatto è certo, che la proporzione esistente fra i tempi periodici di due pianeti qualunque è esattamente la proporzione *sesquiplicata* delle distanze medie delle loro orbite ». Vale a dire, esprimendo la cosa con maggior chiarezza, *i quadrati dei tempi sono come i cubi delle distanze medie.*

Così fu stabilito il terzo di questi importanti principii, come leggi semplicemente derivate da induzione. In fatto ciò che era essenzialmente da desiderarsi, a questo punto cui era pervenuta la scienza del sistema del mondo, era precisamente questa determinazione delle sue leggi numeriche, dedotte indipendentemente da ogni ipotesi fisica. Se queste relazioni fossero state dedotte in conseguenza di qualche teoria, sarebbero state ricevute con sospetto, e assai probabilmente, nello stato della filosofia a quei tempi, sarebbero state poste da un lato con la teoria, se questa fosse alla sua volta stata scartata per far luogo ad un più nuovo sistema. Il gran vantaggio che avevano queste leggi di Keplero era il loro carattere *puramente induttivo*; e non possiamo a meno di riconoscere nella singolare indole di Keplero che cercava queste relazioni aritmetiche puramente per l'amore di esse, il preciso carattere intellettuale che si richiedeva per fare questo passo particolare ed essenziale verso lo stabilimento del sistema del mondo, carattere sorto, precisamente

al periodo in cui era necessario, a riempiere questo grande oggetto conducente all'avanzamento della verità, in mezzo a tutte le innumerevoli strade tendenti all'errore, le quali erano aperte nelle altre sue specolazioni.

Non prima Keplero ebbe pubblicato il suo Epitome dell'astronomia copernicana nel 1618, ch'esso fu, insieme con le opere di Copernico, posto nel catalogo dei libri proibiti; egli fu grandemente sbigottito a questo fatto, temendo d'incontrar difficoltà nella pubblicazione di altre opere che si proponeva di scrivere; ma sembra che il suo timore non fosse fondato. Nello stesso anno conobbe l'invenzione dei logaritmi, e ne calcolò persino alcune tavole. Troviamo ne' suoi scritti una memoria curiosa dello spirito con cui quest'invenzione fu ricevuta: molti matematici dandosi a credere che scapiterebbero nella loro dignità facendo uso di tavole di risultamenti anticipatamente calcolati.

Nel 1620 fu visitato dall'ambasciatore inglese Sir Arrigo Wootton, il quale procurò di persuaderlo a fissare la sua dimora in Inghilterra, ma egli ricusò per desiderio di proseguire la pubblicazione delle tavole Rodolfine, che erano state tanto ritardate per mancanza dei fondi necessari, i quali erano bensì stati ripetutamente promessi dalla tesoreria imperiale, ma non si pagavano con maggior prontezza della pensione. Varie altre cause contribuirono pure a differire la loro pubblicazione, e specialmente le turbolenze che accompagnarono il progresso della riforma in Germania. L'impiego di matematico imperiale fu quello che salvò Keplero dalle violenze di quei tumulti; ma la sua biblioteca gli fu ciò non ostante rapita.

Nel 1627 queste tavole finalmente comparvero, e

contennero gran miglioramenti sopra tutte quelle che le precedettero. Questo volume è notevole per essere stato il primo a suggerire il metodo di determinare la longitudine dall'occultazione di stelle fisse per via della luna.

Keplero godeva allora della protezione di Alberto Wallenstein, duca di Friedland, il quale lo apprezzava solamente come astrologo, ma era almeno pagatore più esatto dell'imperatore. Moriva al costui servizio in novembre 1630, lasciando una quantità di scritti inediti, che furono esaminati da Euler e da altri, ma nulla ne fu stampato: forse perchè nulla apparve degno di pubblicazione.

Galileo

Pochi anni prima di Keplero (ai 15 di febbraio 1564) era nato il suo illustre amico e compagno di fama, Galileo de' Galilei, figliuolo di Vincenzo de' Galilei, pisano. Secondo l'uso di quell'età e del suo paese egli sembra essere stato più comunemente designato col nome di Galileo, sotto il quale è conosciuto.

Vincenzo era uomo di considerevole dottrina ed ingegno, il quale per tempo apprezzò e coltivò il genio del figliuolo. Questi si distinse ben presto nell'università di Pisa, non solamente per progressi generali ne' suoi studi, ma per l'ardire singolare con cui manteneva opinioni originali, contrarie ai dommi scolastici ricevuti.

Una delle lampade pendenti dall'alta volta della cattedrale di Pisa era stata fatta oscillare per accidente; ciò colpì all'istante la mente osservatrice del giovine filosofo, il quale notò il fatto che le sue oscilla-

zioni seguivano in tempi perfettamente eguali, assicurandosene col paragonarle al battere del polso. Questo soggetto occupò quindi lungamente la sua attenzione, ma allora si limitò ad applicarne il principio alla professione medica, cui le sue viste erano rivolte, costruendo un pendolo con una lunghezza variabile, per cui le sue vibrazioni potessero farsi accordare con quelle del polso, e dare così una misura del suo movimento.

Tuttavia le attrattive degli studî matematici in cui entrava, lo distolsero presto da quella professione. Studiò gli antichi geometri e particolarmente Archimede, ed immediatamente passò ad allargare e a migliorare le specolazioni di questo filosofo, componendo un'opera sulla « bilancia idrostatica ». Questo saggio lo fece conoscere da Guido Ubaldi, allora alla testa dei matematici italiani, il quale diresse l'attenzione di lui a varî punti dell'idrostatica che richiedevano una maggiore illustrazione, e lo raccomandò finalmente alla protezione di Ferdinando de' Medici, granduca di Toscana, che lo nominò nel 1589 professore di matematiche a Pisa.

Entrato nel suo nuovo ufficio rivolse con maggior energia la sua attenzione ad un rigoroso esame dei dommi prediletti della fisica aristotelica, per mezzo dell'esperimento. A sostenerlo in queste investigazioni concorrevano parecchi de' suoi più illuminati compagni. Benedetto aveva combattuto alcune delle posizioni della meccanica di Aristotile; e Leonardo da Vinci, quell'ingegno universale, impiegava gran parte del suo tempo in simili discussioni. Le idee di Copernico facevano pure un tacito ma sicuro progresso nell'estimazione dei dotti. Ed abbiamo un più chiaro esempio

in Giordano Bruno che assaliva le dottrine scolastiche con ardire senza pari, ed esponeva le loro assurdità al più meritato ridicolo.

Galileo non fu ritroso a contribuire a quella grande opera di emancipazione intellettuale; e di mano in mano che riusciva a confutare i dommi scolastici per mezzo degli sperimenti, li denunziava dalla cattedra con una energia ed un successo che sempre più irritarono contro di lui gli altri membri del corpo accademico.

Uno dei gran dommi delle scuole era che i corpi gravi cadono a terra più rapidamente che i più leggeri, in proporzione del loro peso. Galileo, in presenza dell'università, salì sulla torre pendente di Pisa e lasciò cadere dalla sua sommità vari corpi di pesi diversi, i quali, con picciolissima differenza dovuta alla resistenza dell'aria, giunsero a terra quasi nello stesso momento. I dotti citavano Aristotile a preferenza dei loro sensi, e sostenevano che una massa di dieci libbre debbe cadere, e cade, nella decima parte del tempo occupato dal cadere di quella di una libbra: e siccome Galileo le aveva fatte cadere nello stesso tempo, il solo risultamento fu che gli divennero acerbamente nemici. Intorno a quel tempo don Giovanni de'Medici aveva formato il disegno di spurgare il porto di Livorno, e Galileo consultato aprì un'opinione contraria, la quale fu poscia pienamente confermata dal cattivo esito dell'impresa. L'autore del disegno ne concepì un odio grandissimo contro Galileo, che si mostrò persino in macchinazioni contro di lui; e questo, unito all'ostilità già eccitata negli scolastici, determinò il filosofo ad abbandonar Pisa, e ad accettare la cattedra che gli era offerta a Padova (1592), sotto la protezione della repubblica di Venezia.

Quivi i suoi scritti e le sue scoperte si moltiplicarono rapidamente; e con la prodigalità del genio Galileo lasciava che molte delle sue ricerche circolassero fra i suoi amici, e fossero anche pubblicate surrettiziamente, e pretese da altri come loro proprie, senza neppur darsene pensiero.

Nello stesso anno 1592 pubblicò un trattato « Della Scienza meccanica », nella quale dopo di aver esaminata la teoria delle potenze meccaniche, avanza questa proposizione generale, che tutto il vantaggio da esse procurato è semplicemente questo: di rendere una picciola forza equivalente a una grande, facendo che quella percorra uno spazio proporzionalmente maggiore nel medesimo tempo. E nel dichiarare questo principio, egli dimostra ulteriormente che, se l'effetto di una forza è stimato dal peso che può innalzare ad una data altezza, in un dato tempo, quest'effetto non può mai essere accresciuto da alcun mezzo meccanico qualunque. Procedette pure alla teoria della leva obbliqua e del piano inclinato, ma su principii più puramente matematici che quelli di Stevin.

Nella teoria del moto aveva, come si è veduto, investigato alcune delle leggi dei corpi cadenti; egli estese questa investigazione assumendo primamente che ricevono eguali incrementi di velocità in tempi eguali, e quindi dedusse matematicamente che gli *spazi percorsi* debbono essere *come i quadrati dei tempi*, e che lo spazio percorso in una parte di tempo è esattamente la metà di quello che sarebbe percorso nello stesso tempo con la velocità ultimamente acquistata, continuata uniformemente. Presto vide che un corpo che discenda su di un piano inclinato, debbe essere parimente accelerato; quindi scelse questo come un modo semplice

di mettere la sua teoria dei gravi cadenti alla prova dello sperimento.

Dalla sua cognizione del piano inclinato, agevolmente ne seguitava che i tempi della discesa per tutte le *corde* di un circolo, terminanti al suo più basso punto, dovevano essere gli stessi. Egli cadde tuttavia in un errore mantenendo la stessa cosa degli *archi* circolari, ed applicando questo alle vibrazioni del pendolo. Conoscendo la legge dei gravi cadenti dare spazi proporzionali ai quadrati dei tempi, egli dedusse il movimento dei proietti, e mostrò la linea da essi percorsa essere una parabola. Questo raziocinio involveva un principio che Galileo non nomina espressamente, ma che in fatto è uno dei casi del principio generale della composizione delle forze.

La questione intorno il movimento dei proietti era stata fatta da Aristotile, ma era rimasta senza alcuna soluzione. Alcuni dei più antichi scrittori sull' artiglieria notarono che per certe distanze le armi da fuoco debbono essere appuntate all' insù: e Tommaso Digges nella sua opera la «Nuova artiglieria» (1591) aveva osservato che la palla ha sin dal principio un moto all' ingiù, il quale, benchè insensibile in sulle prime, l' allontana dal suo corso diretto. Tartaglia supponeva la linea della palla essere composta di due parti rette, l' una ascendente, discendente l' altra, e connesse nel mezzo da un arco circolare. A queste idee imperfette succedè la vera e filosofica teoria di Galileo.

Le ricerche meccaniche e dinamiche di questo gran filosofo sono incontrastabilmente quelle in cui riconosciamo la prima vera unione del raziocinio sperimentale col matematico nell' investigare le leggi della forza e del moto.

Si fu a Padova che Galileo per la prima volta si dichiarò convinto della verità del sistema di Copernico. La prima notizia di questo si trova in una sua lettera del 1597 a Keplero, in cui lo ringrazia del dono del suo « *Mysterium Cosmographicum* ». Sembra tuttavia che nelle sue pubbliche lezioni, per qualche tempo dopo che aveva abbracciato la nuova dottrina, seguitasse a valersi dell' ipotesi di Tolomeo; ma dobbiamo rammentarci quanto fossero scarse le prove decisive addotte in sostegno di quella. Ciò non pertanto si ha gran ragione di dubitare dell'autenticità di un'opera sulla sfera la quale è tutta Tolemaica, ed è stata lungamente attribuita a Galileo. Tanto in quest' occasione quanto posteriormente egli professò una grande stima per Keplero, quantunque non celasse il suo dissentire dalle strane allucinazioni di lui. « Keplero, diceva egli, ha un ingegno ardito e libero, e fors' anche troppo; ma il suo modo di filosofare è tutto diverso dal mio ».

La fama di Galileo cominciava ora ad accrescersi rapidamente. Le sue lezioni erano frequentate da molte persone del più alto grado; e quando, secondo la costituzione dell'università, fu giunto il tempo di una nuova elezione, non solamente fu rieletto, ma il suo stipendio fu considerevolmente accresciuto.

L'apparizione di una nuova stella nel 1604, di cui abbiamo già parlato, naturalmente attrasse tutta l'attenzione di Galileo. Moltitudini di persone si recavano alla sua scuola per udire i suoi comenti su di essa; ed egli prese opportunamente quell'occasione per mettere in contrasto la loro ansiosa curiosità per quel nuovo e splendido spettacolo, con la loro negligenza nello studiare le apparenze ordinarie della natura niente meno maravigliose ed assai più istruttive. Egli mostrò chia-

ramente che questa stella, non avendo parallasse sensibile, doveva essere situata molto al di là della regione della nostra atmosfera, cui gli Aristotelici riferivano tutte le comete e le meteore transitorie, e secondo le cui idee un corpo nuovo e variabile generato nelle perfette ed immutabili sfere celesti era una cosa affatto contraddittoria.

Non ostante l'ostilità che producevano queste dichiarazioni di libera investigazione, Galileo fu una seconda volta rieletto. Le sue lezioni erano frequentate in tanta folla che spesso fu obbligato di far scuola all'aperto, e la sua riputazione si andava sempre più dilatando. Sembra che in quel torno inventasse il termometro, o piuttosto un termoscopio (1); poichè il primo nome non gli si poteva propriamente dare finchè non gli fu più tardi annessa una scala fissa. Questo strumento è citato in una lettera di Sagredo del 1613, ma non si sa quanto tempo prima fosse inventato. Tuttavia anche questa data è anteriore a quella di Drebel (1620) il quale può averlo indipendentemente imaginato, e fu certamente il primo che l'introdusse in Olanda.

Il termoscopio di Galileo era un tubo terminato in una bolla, capovolto in un vaso d'acqua, con la bolla occupata dall'aria. Leopoldo de'Medici, alcuni anni dopo, lo riempiè di spirito di vino e sigillò l'estremità aperta mentre lo spirito bolliva. Il mercurio vi fu finalmente sostituito da Lana nel 1670.

Galileo fu tosto dopo impegnato in una questione con Baldassar Capra che pare gli abbia rubata l'invenzione di una scala di parti proporzionali. Rivolse pure il pensiero al soggetto del magnetismo, molto com-

(1) Θερμος, caldo; σκοπεω, osservo; μετρεω, misuro.

mendando Gilbert che era stato autore dell'investigazione sperimentale di questa scienza.

Nel 1609, gli furono fatte proposizioni di tornare a Pisa. A Cosimo de' Medici, che era succeduto a suo padre nel gran ducato di Toscana, rincrebbe che si fosse lasciato partire un sì gran genio da un'università che avrebbe dovuto illustrare. Esistono ancora le risposte di Galileo a queste proposizioni, e sono un quadro interessantissimo e caratteristico delle sue idee, de' suoi disegni e della sua indole: tuttavia non accettò l'offerta. L'anno 1609, quello stesso in cui comparve alla luce il commentario di Keplero su Marte, è pure per sempre memorabile per l'invenzione del telescopio fatta da Galileo. Nell'opinione di molti questa è la sola scoperta importante associata col suo nome; ed alcuni scrittori hanno pure preteso ch'essa non aggiunga gran cosa alla sua riputazione. Senza detrar nulla dai suoi gran meriti, noi riguardiamo tuttavia questa scoperta come uno dei suoi maggiori titoli a quella fama immortale di cui è stato così giustamente rivestito.

Le lenti, siccome abbiamo osservato, erano conosciute assai prima di questo tempo, ed erano impiegate in soccorso della vista; nè mancano tocchi più o meno oscuri nelle memorie dei tempi precedenti, degli effetti prodotti od aspettati dalle loro combinazioni. *Dopo* che la costruzione del telescopio di Galileo fu annunziata, parecchi scrittori si affrettarono ad attribuirne ad altri il principio. Questi titoli sono intieramente fondati su passi il cui senso è *ambiguo*. Fracastoro e Battista Porta, Digges e De Dominis furono nominati fra i pretendenti. E gli olandesi Jansen e Lipperhay, maestri d'occhiali, chieggono la priorità di aver combinato due lenti, di modo che gli oggetti lontani erano veduti attraverso quelle ingranditi e *capovolti*.

Galileo stesso concede di aver udito parlare di una tale combinazione. Egli si applicò immediatamente a considerare, secondo i principii ottici, in che modo si potesse produrre quest'effetto, e finalmente costrusse un telescopio che mostrava gli oggetti lontani ingranditi e *diritti*. Non si fermò allora a investigare la cosa sotto tutti i suoi aspetti, ma soddisfatto per quel momento del felice esito che aveva ottenuto, procedette con ardore a far altri miglioramenti alla costruzione e ad accrescere la forza dello stromento per applicarlo con vantaggio all'astronomia (1).

Il principio del telescopio e del microscopio, per un ottico matematico, è uno e medesimo. Il telescopio raccoglie meramente raggi paralleli da oggetti lontani, e il microscopio raggi divergenti da oggetti vicini. La seconda invenzione non poteva dunque a meno di seguire immediatamente la prima. Galileo costruì microscopi nel 1612; ma non si fermò su quest'invenzione, essendo tutto assorto nel perfezionare il telescopio e nel glorioso campo di scoperte astronomiche che gli si parava dinanzi.

Trovandosi a Venezia, la sua casa era piena di visitatori che andavano ad assicurarsi della verità delle maravigliose storie che si raccontavano della sua invenzione. Il Doge fece comprendere che un telescopio sarebbe un regalo accettevole alla repubblica; e Galileo avendo atteso al suggerimento fu in ricompensa confermato a vita nella sua cattedra di Padova, ed ebbe raddoppiato lo stipendio. La pubblica curiosità era

(1) Tutto questo soggetto è mirabilmente discusso nella vita di Galileo del Drinkwater p. 24. Vedi pure una memoria del prof. Moll nel giornale dell'Istit. Reale, i. 319.

salita al più alto grado. Sirturi che aveva fabbricato uno di questi stromenti, essendo andato a provarlo in cima alla torre di San Marco a Venezia, fu presto osservato dalla folla che lo trattenne per molte ore onde soddisfare la curiosità guardando attraverso il suo stromento. Dappertutto si fecero allora telescopi di una qualità inferiore che si sparsero rapidamente per tutta Europa, ma la costruzione dei migliori fu quasi ristretta al solo Galileo ed a coloro ch'egli aveva ammaestrati.

« L'invenzione del telescopio, osserva il professore Playfair, è quella in cui (seguendo senza saperlo l'opera della natura nella formazione dell'occhio) l'uomo si è più avvicinato alla costruzione di un nuovo organo di senso......... Una serie di miglioramenti scientifici, continuati per più di 200 anni ha sempre accresciuta la perfezione di questo nobile stromento, ed ha quasi dato diritto alla scienza di considerare il telescopio come sua produzione...... Dopo l'invenzione del telescopio quella del microscopio era facile; e siamo debitori a Galileo di questo stromento che scopre un'immensità da un lato quasi altrettanto maravigliosa quanto quella che il telescopio scopre dall'altro. L'estensione e la divisibilità della materia sono così rendute al filosofo naturale quasi illimitate quanto l'estensione e la divisibilità dello spazio sono senza limiti pel geometra » (1).

Ora che l'apparenza telescopica del cielo è così famigliarmente conosciuta, appena possiamo concepire l'intenso interesse che la prima sua vista ha dovuto eccitare. La moltiplicità degli splendidi oggetti che

(1) Dissertazione sul progresso della scienza, pp. 248-250, opere, vol. I.

chiamavano di essere esaminati, l'indefinita aspettazione di ciò che potrebbe essere rivelato dal potere di uno stromento non ancora messo alla prova, e la probabilità di numerose addizioni alla lista di quei corpi che erano già stati riconosciuti dall'uomo, — queste e molte altre emozioni affini che debbono essere state eccitate in quell'occasione, si possono più agevolmente imaginare che descrivere; e debbono essersi riunite per dare un irresistibile impulso al progresso dell'osservazione.

Galileo avendo bastantemente migliorato il suo stromento, cominciò a rivolgerlo assiduamente al cielo. La luna formò naturalmente il primo oggetto della sua attenzione; e non possiamo non riconoscere l'originale del quadro fatto da Milton, poichè sappiamo ch'egli ebbe l'opportunità di dipingere dal vero. —

. . . . la luna
Cui dal giogo di Fiesole o in Valdarno,
Di vetro, esperto delle sfere, armata
L'astronoma pupilla, il maggior Tosco
A spiar prende, onde altre terre ed altri
Monti all'idea figura ed altri fiumi.
Par. Perd. I. 558 (1).

Il secondo oggetto del suo esame fu Giove; e non prima il telescopio fu appuntato a quel pianeta che si scoperse l'esistenza de' suoi satelliti, la cui natura fu presto verificata (febbraio 1610). Queste ed altre osservazioni furono descritte da Galileo in un opuscolo intitolato « *Nuncius Sidereus* » che produsse una sensazione straordinaria quando comparve. Molti negarono

(1) Traduzione di Michele Leoni.

positivamente la possibilità di simili scoperte; altri stettero in dubbio; tutti furono pieni di stupore. Keplero in una sua lettera a Galileo descrive l'impressione che fece sopra di lui questa novella. Egli la considerava come totalmente incredibile; ma il suo rispetto per l'autorità di Galileo era sì grande che s'immerse in un mare di congetture per iscoprire come un tal fatto potesse essere compatibile con l'ordine delle orbite celesti quali erano determinate dai cinque solidi regolari. Sizzi disputò seriamente con Galileo, dicendo che l'apparenza doveva essere fallace; poichè verrebbe a invalidare la perfezione del numero 7, che si applica ai pianeti quanto a tutte le altre cose così naturali come divine. Inoltre, soggiungeva; questi satelliti sono invisibili all'occhio nudo; epperò non possono esercitare alcuna influenza sulla terra; quindi sono inutili: quindi non esistono.

Altri scelsero un altro mezzo più deciso e non meno razionale per andare incontro a questa difficoltà. Il professore principale di filosofia a Padova ricusò ostinatamente di guardare nel telescopio. Un altro satiricamente osservò non essere da supporsi che a Giove fossero conceduti quattro satelliti ad oggetto d'immortalare la famiglia de'Medici (avendoli Galileo chiamati Stelle Medicee). Un Tedesco chiamato Horky suggerì che il telescopio, quantunque accurato per le cose terrestri, non era esatto pel cielo. Egli pubblicò un trattato in cui discute, che cosa siano? perchè siano? e a che cosa somiglino?, i quattro nuovi pianeti (siccome erano chiamati), e conchiude con attribuire la loro pretesa esistenza alla sete dell'oro di Galileo. Intendendo male un passo degli scritti di Keplero, credette che questi fosse un oppositore di Galileo, e se

nè andò a lui col suo libro aspettandosi di essere accolto in trionfo. Ma fu ricevuto in modo che gli fece chiaramente conoscere quanto s' ingannasse. Keplero narra questo abboccamento in una curiosa sua lettera a Galileo. Horky pregò di essere perdonato; e Keplero gli fece promettere di *vedere* i satelliti quando glieli avrebbe mostrati.

Intanto la fama di Galileo e quella del suo telescopio andavano universalmente crescendo. Il Granduca chiese che il telescopio originale fosse deposto nel museo di Firenze, e Galileo volonterosamente vi consentì. Non sono molti anni che si mostrava colà un vecchio stromento che si diceva essere lo stesso; ma alcuni scettici hanno dubitato che fosse il vero. Il Granduca nominò Galileo suo primario filosofo e matematico con uno stipendio di mille fiorini. La verità della sua scoperta era oramai confessata. Si operò una reazione; ed alcuni osservatori cominciarono a scoprire un maggior numero di satelliti; taluni ne numerarono insino a dodici. Ma in breve si scoperse il loro inganno, e i quattro satelliti di Galileo mantennero il loro posto.

Le novelle delle scoperte telescopiche giunsero in Inghilterra nel 1610. Harriot (già nominato come matematico) coltivava diligentemente l'astronomia, e per considerazioni analogiche aveva manifestata l'idea che potessero esistere pianeti secondari invisibili per le loro dimensioni e per la distanza. Egli fu il primo a verificare i risultamenti di Galileo e le osservazioni furono ripetute con ardore dal suo amico Sir W. Lower. Essi continuarono insieme le loro ricerche telescopiche nei vari altri fenomeni che venivano affollandosi, ed esistono alcune interessantissime memorie delle loro fatiche, le quali dipingono al vivo l'intensa curiosità

che queste scoperte avevano eccitata (1). Parè che si facessero telescopi in Londra nel 1610; ma l'arte era così poco fondata sui buoni principii che l'osservatore doveva procacciarsene un gran numero, fidandosi al caso che gliene facesse trovare alcuno che fosse buono.

Le macchie del sole furono uno dei primi oggetti cui Galileo ed Harriot rivolsero la loro attenzione. La precisa data della prima loro osservazione è grandemente incerta, ma poco v'è da dubitare del dritto di Galileo alla priorità, quantunque non ne pubblicasse alcun ragguaglio fino al 1613. La descrizione delle sue osservazioni è contenuta in una lettera scritta in maggio 1612, in cui dice di averle cominciate diciotto mesi addietro; ma qui non possiamo entrare in una discussione di questo punto. Dalle macchie Galileo dedusse la rotazione del sole sul suo asse. Keplero, avendo osservato una di queste macchie, aveva supposto che Mercurio passasse dinanzi il disco del sole, ma rinunziò immediatamente a questa opinione allorchè conobbe la scoperta di Galileo.

Le osservazioni di Galileo sulla luna diedero una novella prova del sistema solare, per l'intera conferma che porgevano degli effetti della luce reflessa, veduti nella luce e nelle ombre della superficie lunare. Gli Aristotelici avevano determinato che la luna era un corpo perfetto. Quindi sdegnavano le dottrine di Galileo che dicevano dilettarsi a deturpare e rovinare le più belle opere della natura. Lodovico delle Colombe procurò di riconciliare le parti contendenti, col suggerire che i luoghi apparentemente incavati erano pieni di un *mezzo* cristallino puro e trasparente.

(1) Vedi Supplemento alle memorie di Bradley del prof. Rigaud. Oxford 1833.

L'apparenza di una tenue illuminazione nella parte oscura della nuova luna (che volgarmente si chiama la luna vecchia in grembo alla nuova) fu spiegata da Galileo, come era stata da Leonardo da Vinci e da Mæstlin, procedere dal « *lume della terra* ». Questa fu un'altra causa di offesa pegli Aristotelici, i quali non potevano accondiscendere ad ammettere che la terra potesse risplendere come un pianeta. Esaminando le stelle fisse, fu a principio maravigliato di non trovare alcun aumento nelle loro grandezze sensibili: ma fu egualmente stupito della vasta moltiplicazione del loro numero. Rivolgendo il suo telescopio alla via lattea, ne scoprì la vera natura come consistente in una moltitudine di picciole stelle; e la stessa conclusione fu da lui estesa alle altre nebulose.

Il pianeta Saturno chiamò poscia le sue osservazioni; ed egli descrive minutamente tutte le perplessità in cui ebbe a trovarsi per la figura apparentemente anomala del pianeta; talora semplice, talora *con un corpo ad ambi i lati o tricorporeo*. Notò questa scoperta in un anagramma, come fece pure d'un'altra scoperta telescopica delle *fasi di Venere*. Questa fu una delle prove più decisive del sistema di Copernico, e l'adempimento di una predizione di lui (1). La supposta *assenza* di tali fasi era stata addotta da un eminente Aristotelico come prova dell'antico sistema. Galileo notò pure i meno cospicui cambiamenti di fase in Marte.

Ricevuta la nomina del granduca Cosimo, rinunziò alla cattedra di Padova; cosa che fu cagione non solamente di rincrescimento ma d'offesa alla repubblica di Venezia che lo aveva protetto. In ogni altro luogo

(1) Vedi ciò che si è detto più sopra parlando di Copernico.

fu ricevuto coi segni della più alta stima. Andato a Roma nel 1611, le persone d'ogni grado andarono a gara ad onorarlo, e mostrarono la maggior ansietà di vedere i fatti che aveva osservato. Nel 1612 al suo ritorno a Firenze pubblicò il suo discorso sui corpi che galleggiano sull'acqua, nel quale spiega i principii di quella parte d'idrostatica con grande accuratezza, notando fra le altre cose il rimarchevole sperimento chiamato paradosso idrostatico.

In dicembre 1612 Galileo fu molto maravigliato della sparizione dei due *corpi laterali* che aveva prima osservati nel pianeta Saturno; ma non pare che gli sia venuta in mente alcun'adeguata teoria della loro vera natura.

Nel 1615, lo vediamo entrare con ardore in varie idee che allora si consideravano dal governo Spagnuolo per la scoperta della longitudine, e suggerire particolarmente l'uso degli ecclissi dei satelliti di Giove per quest'oggetto.

L'anno 1618 fu notevole per l'apparizione di tre comete, le quali diedero occasione a molte discussioni in cui Galileo dimostra almeno la sua prudenza, osservando che la distanza di questi corpi non può essere accuratamente determinata dalla loro parallasse. Probabilmente egli inclinava ancora all'idea che fossero soltanto una specie di meteore.

Il telescopio di Galileo era composto d'un vetro obbiettivo convesso e d'un oculare concavo, precisamente come si costruiscono adesso i canocchialetti da teatro. Keplero nella sua « Diottrica » aveva investigato la teoria più generale delle combinazioni di lenti aggiustate coi fuochi principali in coincidenza, e così (in teoria) formanti telescopi; e fra quelle aveva

trattato del caso in cui ambe le lenti sono convesse, ed essendo poste ad una distanza eguale alla somma delle loro lunghezze focali, producono un' imagine capovolta. Questa è la costruzione chiamata telescopio astronomico. Ma di questo genere non se ne fecero finchè Scheiner s'impadronì dell' invenzione e ne costrusse, dandone un ragguaglio in un trattato del 1650 intitolato « Rosa Ursina ».

Questo valente osservatore pretese d'essere stato il primo ad osservare le macchie del sole, ma i fatti paiono essere chiaramente in favore di Galileo. Scheiner era monaco, e comunicando al superiore del suo ordine una notizia delle macchie, ricevette da quel dotto padre una solenne ammonizione contro tali eretiche idee: — « Ho cercato in Aristotile, diss' egli, e non posso trovarvi nulla di questo: siate pertanto sicuro ch'egli è un inganno dei vostri sensi e dei vostri vetri ».

Non ostanti questi pregiudizi presso alcune persone, il progresso delle nuove opinioni fu rapido in tutti gli ordini. Ne daremo un esempio alquanto rimarchevole.

Nel 1615, Paolo Antonio Foscarini, monaco carmelitano, compose sotto la protezione ed a richiesta di Vincenzo Caraffa, gentiluomo napoletano, un saggio in difesa e spiegazione del sistema di Copernico. Egli tratta il suo argomento con considerevole destrezza ed ingegno, e combatte i pregiudizi de' suoi lettori in modo da evitare di offenderli. In particolare entra largamente in speciose interpretazioni, ad oggetto di conciliare colla dottrina del movimento della terra e dell' immobilità del sole i vari passi della Scrittura che esprimono il contrario. Il tutto è scritto con grandi e probabilmente sincere professioni di pietà e di riverenza per l'autorità della Chiesa, nello stesso tempo che l'autore

manifesta la sua speranza che il saggio sarà accetto ai filosofi e particolarmente a Keplero e a Galileo. Il libro è dedicato al Generale dell'ordine dei Carmelitani, e fu pubblicato a Firenze nel 1630 con la sanzione delle autorità ecclesiastiche. Il caso del Foscarini è interessante per più ragioni, ed offre un contrasto singolare tanto con quello di Bruno sopra menzionato, quanto con quello di Galileo medesimo, come in breve vedremo. Non sembra facile a primo tratto il conciliare l'indulgenza con cui il primo fu accolto col duro trattamento praticato negli altri casi, in cui s'inculcava precisamente il medesimo sistema. Avremo occasione di tornare su questo soggetto in un'altra parte del nostro lavoro; adesso faremo ritorno a Galileo.

L'arditezza con la quale proseguiva le sue specolazioni, e la schietta libertà con la quale sosteneva le sue teorie e combatteva quelle degli Aristotelici, presto attrassero l'attenzione dell'Inquisizione; e nel 1615 fu citato a comparire a Roma per rispondere alle accuse che gli sarebbero fatte. Intanto i suoi potenti amici e specialmente il Granduca paiono aver impiegata tutta la loro influenza in suo favore per quanto osavano; e riuscirono se non altro ad ottenere una mitigazione della severità del processo. Fu deciso dal tribunale che il cardinale Bellarmino facesse in suo nome un ammonizione a Galileo, e gli ordinasse d'abbandonare e di non più insegnare le sue false, empie ed eretiche opinioni. Questo fu eseguito ai 26 di febbraio 1616 con minaccia di carcere e di più severe misure se rifiutasse. Galileo non poteva prudentemente far altro che sottomettersi: quindi dopo d'aver fatta per violenza questa promessa, fu rimandato.

Tornato a Firenze continuò i suoi studi e le sue

ricerche con indefesso ardore. Nè questo era contrario alla promessa che ingiustamente e forzatamente gli era stata strappata. Tuttavia si occupava a comporre ciò che in fatto non era altro se non una coperta ma compiuta difesa del sistema Copernicano, sebbene in un modo da non trasgredire neppure la lettera della sua promessa; poichè era composta in forma di dialogo in cui la materia è liberamente discussa dalle due parti, lasciando al lettore di trarre egli stesso la sua conclusione. Nel 1630 egli aveva compiuta questa grand'opera che intitolò «Dialoghi sui sistemi di Tolomeo e di Copernico; » ma v'ebbe un considerevole ritardo nell'ottenere la necessaria facoltà di pubblicarla. Comparve tuttavia nel 1632 con una dedica al Granduca. Questi Dialoghi consistono specialmente in illustrazioni delle varie scoperte precedenti dell'autore e nello sviluppo degli argomenti che se ne possono dedurre; insieme con una compiuta discussione delle varie obbiezioni che ordinariamente si fanno al sistema Copernicano, e delle ragioni con le quali viene difeso. La disputa è sostenuta con molto impegno tra un Copernicano, un Aristotelico ed un uomo d'ingegno e di acume, mezzo convertito, il cui uffizio è di far risaltare gli argomenti degli altri due. La tendenza in favore del sistema di Copernico è ovvia, quantunque tutti gli argomenti dell'altra parte siano espressi con tutta la forza di cui sono capaci.

Le difficoltà opposte al sistema solare e derivate dall'idea aristotelica della perfezione dei corpi celesti sono ingegnosamente combattute. L'analogia del sistema di Giove e de' suoi satelliti è incalzata con forza. Le fasi di quei pianeti che sono situati in modo da averne, e i passaggi dei pianeti inferiori sul sole,

apparenti quai macchie nere, sono addotte come prove convincenti che risplendono per sola luce riflessa. In particolare l'autore parla distesamente delle stelle variabili del 1604 e del 1572, e delle macchie del sole, come affatto contrarie all'immutabile natura dei corpi celesti.

Le obbiezioni fisiche che erano state prodotte dai Tolemaici contro il movimento della terra, erano, siccome abbiamo già veduto, principalmente fondate su certe supposte difficoltà, che si dicevano doverne risultare, cioè, che una pietra lasciata cadere da un' altezza giungerebbe a terra ad una gran distanza a ponente, per la rapidità con cui la terra le sfuggirebbe di sotto; gli augelli nel volare sarebbero egualmente lasciati addietro; e l'atmosfera stessa e tutti i corpi staccati sarebbero portati via. Le risposte date a queste obbiezioni prima dei tempi di Galileo erano tutte più o meno fondate sullo stesso genere di distinzioni metafisiche, per cui si tentava di dimostrare che questi corpi sono tutti parte della terra, e perciò sono partecipi del suo moto. Il caso analogo di una palla lasciata cadere dalla cima dell'albero di una nave in moto, e di un corpo gettato a traverso di essa dalla poppa verso la prora, erano citati, e si manteneva che in egual maniera cadrebbero indietro. I Copernicani ammettevano questo, perchè, al dir loro, tai corpi non erano parte della nave.

La vera maniera di rispondere non fu tentata; quella cioè di fare lo sperimento. La risposta sarebbe stata che la palla cade precisamente appiè dell'albero; e il corpo gettato va a colpire esattamente il punto opposto della nave cui è diretto. Nel caso di un corpo lasciato cadere da una torre vi sarebbe per verità una

deviazione inestimabile, a cagione che la velocità della cima della torre è leggerissimamente maggiore di quella della superficie del suolo, nella ragione dell'altezza della torre al raggio del globo. Ma, tolto questo, il corpo cade al piede della torre. Galileo dimostrò pure che i corpi posti così in movimento partecipano al moto della massa cui appartengono, non per virtù di alcuno dei principii metafisici, quali sono quelli addotti dagli Aristotelici, ma per cause meccaniche dipendenti dalla comunicazione del movimento.

Rimosse le difficoltà fisiche, rimanevano soltanto a paragonarsi i due sistemi sotto un aspetto astronomico. E qui il vantaggio del Copernicano è palpabile ed immenso. La sua semplicità e la sua uniformità è fatta contrastare mirabilmente e in modo convincentissimo con la complessità dell' ipotesi Tolemaica, e con le supposizioni inconcepibilmente difficili che questa involve per rispetto alla velocità, con la quale i corpi celesti si debbono muovere. E i medesimi seguaci di Tolomeo erano costretti ad ammettere la superiorità di Copernico a questo riguardo; ma resistevano non per altro, se non per le obbiezioni fisiche tratte dalla dottrina Aristotelica e per li decreti della Chiesa.

Intorno al soggetto delle maree Galileo è meno felice. Egli suggerisce per verità una teoria, ma questa è di una natura non molto soddisfacente. I Gesuiti del collegio di Coimbra sembrano essere stati i primi a dare un cenno della vera causa nel loro comento sul libro delle meteore di Aristotile, in cui osservano che « è più probabile che la luna innalzi le acque per qualche potere inerente d' impulsione, nello stesso modo che una magnete muove il ferro, secondo i suoi diversi aspetti ecc. ». La stessa idea era sostenuta da

De Dominis; e sebbene Galileo non vi dia alcuno sviluppo, troviamo tuttavia in alcune parti dei dialoghi che si fanno curiose allusioni e si danno indizi della esistenza di un principio di gravitazione universale.

Lo stile in cui tutta l'opera è composta è tale che giustamente la fece assai popolare; e il professore Playfair osserva, che « i Dialoghi sono scritti con una felicità così singolare che, anche al giorno presente che le verità in essi contenute sono conosciute ed ammesse, si leggono con tutto il diletto che dà la novità; ed uno si sente trasportato al tempo in cui il telescopio fu primamente diretto verso il cielo, e il moto della terra con tutta la serie delle sue conseguenze fu provato per la prima volta ». Quantunque la forma stessa dei Dialoghi, siccome abbiamo osservato, chiaramente salvasse Galileo dall'imputazione di aver violato la lettera della sua promessa all'Inquisizione, questo tribunale che vedeva tutto il vantaggio essere dal lato degli argomenti favorevoli alla teoria di Copernico, pensò che l'autore ne avesse violato lo spirito, e che quand'anche ciò non fosse, v'era grave sospetto che avesse desiderato di violarlo, il che tornava allo stesso. Quindi la rinnovata guerra al sistema ortodosso, benchè copertamente promossa, non era da passarsi sotto silenzio o da essere perdonata.

I Dialoghi venivano in luce in una congiuntura che sembrava dover porgere una particolare speranza di sicurezza ed impunità all'autore; alcuni de' suoi più potenti nemici erano morti e il suo vecchio amico Urbano era sommo pontefice. Ma gli inquisitori volevano la sua condanna, e sgraziatamente v'ebbe una circostanza che venne ad aggravar grandemente l'offesa; Urbano si diè a credere senza ragione di essere stato

messo in ridicolo nel Dialogo. Potenti com' erano gli amici di Galileo furono intimoriti e non poterono tentar altro in suo favore se non di ottenere qualche leggiera indulgenza nella maniera di procedere contro di lui. Il pontefice ebbe la cortesia di mandare un avviso privato della dura necessità in cui si trovava di assoggettare i Dialoghi all'Inquisizione; gli ecclesiastici amici di Galileo e lo stesso Granduca, non poterono trovar miglior mezzo d'impiegare la loro influenza fuorchè quello di persuadere l'accusato di adattarsi, per lo suo meglio, a tutta la possibile sottomessione. Intanto si ebbe una cura particolare di escludere dal tribunale tutti coloro che avevano la menoma cognizione del soggetto del libro o delle opinioni del reo sulle quali si fondava l'accusa di eresia.

Galileo *invitato* a trasferirsi a Roma fu ricevuto con ogni attenzione nel palazzo di Nicolini ambasciatore del Granduca, ma gli fu *raccomandato* di non uscirne. E quando fu condotto al santo ufficio per esservi esaminato, non fu rinchiuso in una segreta ma alloggiato nelle stanze di uno de' suoi ufficiali. I segreti dell'esame non traspirarono mai, sebbene si abbiano indizî che vi sia stata minaccia di tortura. Il risultamento fu che si ottenne dal prigioniero l'ammessione di essere autore dei Dialoghi, ed una *libera* e *spontanea* dichiarazione di volersi sottomettere e ritrattare.

Dopo qualche tempo fu condotto a udire la sua sentenza ed a fare l'abbiura (21 giugno 1633). Il tribunale pronunziò solennemente la condanna delle sue opere e delle sue opinioni: concedendo però a lui un generoso perdono con che abbiurasse gli empi ed eretici suoi errori e si sottomettesse in generale all'autorità della Chiesa, ed in particolare alla pena salutare della prigionia ed a certi esercizi penitenziali.

Posto intieramente nelle mani della forza, egli pronunziò la voluta abbiurazione; giurò che il movimento della terra è eretico e che rinunziava a qualunque eresia. Tuttavia nel sorgere di ginocchio si dice che bisbigliasse all'orecchio di un amico queste parole « E pur si muove ».

Alcuni scrittori nel discutere questo fatto hanno chiesto quale risultamento la Chiesa potesse aspettare da un giuramento strappato a forza, da un' abbiurazione che altri poteva riguardare come non obbligatoria, e da una confessione fatta per timore della tortura e che non poteva avere alcun valore. Questo è un non conoscere la natura e l'oggetto del tribunale e dell'offesa. L' inquisizione non era una corte di giustizia stabilita per giudicare l'eresia come delitto, ma era piuttosto una commissione spirituale di sanità il cui officio era di applicare un rimedio salutare, anche doloroso, per arrestare il contagio dell' errore e, se fosse possibile, ridurre l' eretico nelle vie della salvazione. L'oggetto non era di convincere ma di sottomettere; non la ricerca della verità, ma la professione d'aver errato; e fatto questo il fine era ottenuto.

Il tribunale adoperò tutti i mezzi possibili per pubblicare la ritrattazione di Galileo in tutta Europa, pensando senza dubbio che si amministrava un compiuto antidoto all'eresia Copernicana. Un frate inveì dal pulpito contro queste opinioni facendo un povero bisticcio sul testo: « *Viri Galilaei quid statis suspicientes in coelum* ».

L'imprigionamento non durò più di quattro giorni; e la vittima fu rimandata alla residenza di Nicolini. Finalmente fu confinato a Siena, con licenza di risiedere nel palazzo dell'arcivescovo Piccolomini come cosa

equivalente al confinio, e dopo pochi mesi gli fu concesso di andarsene alla propria villa di Arcetri. È vero che l'età avanzata e le crescenti infermità l'avrebbero quasi naturalmente confinato in casa; di modo che la sentenza era poco più che di nome; ciò non impedisce tuttavia che si debba detestare il principio che l'ha dettata.

Mentre era ristretto alla sua residenza di Arcetri, Galileo non poteva arrischiarsi a ripigliare i suoi studi astronomici, cosa che nelle sue circostanze era pericolosa, oltrechè non poteva non produrre in lui una dolorosa rimembranza. La sua mente si rivolse adunque con maggior soddisfazione al tema prediletto delle sue prime investigazioni, la dottrina del moto. Il frutto di queste sue specolazioni è contenuto nei « Dialoghi sul moto,» che furono pubblicati nel 1636; ma siccome tutte le sue opere « *edita et edenda* » erano poste all'indice, vi fu gran difficoltà a procurarne la stampa, che finalmente fu eseguita a Amsterdam.

Questi Dialoghi sono una continuazione di quelli sul sistema; e sono sostenuti dagli stessi interlocutori. Essi contengono lo sviluppo di tutte le ricerche di Galileo sulla teoria del moto; e sono in fatto l'enunciazione più compiuta dei primi principii della dinamica, per quanto l'aveva investigata.

Fra i principali soggetti di discussione v'è quello della discesa rettilinea dei corpi. Gli sperimenti dell'autore sono riferiti con tutti i particolari; ma a cagione dell'imperfezione de'suoi metodi, egli dedusse un risultamento che differisce considerevolmente dalla verità. Entra distesamente a confutare la dottrina Aristotelica dell'acceleramento di un corpo cadente per via dell'aria; e ricerca il moto dei proietti, mostrando con un

raziocinio chiaro e soddisfacente che il loro corso nel vacuo sarà sempre una parabola. In ciò, come in altre parti delle sue ricerche, introduce distintamente il gran principio della composizione delle forze, che stabilisce su basi sufficientemente generali per l'oggetto di queste investigazioni.

È singolare che un filosofo acuto qual era Galileo non abbia intieramente rigettata l'idea dell' abborrimento della natura pel vacuo. Tuttavia non credè che un vuoto fosse impossibile, poichè nei Dialoghi descrive uno sperimento divisato all' oggetto di formarne uno. Per rispetto alla tromba, egli pare certamente che credesse ancora alla teória del succhiamento; che è non solamente una circostanza assai straordinaria in se stessa, ma tanto più perchè descrive uno sperimento con cui tentò di misurare il peso dell'aria paragonato con quello dell'acqua.

In un'altra parte dei Dialoghi abbiamo qualche curioso tocco del tempo in cui la luce è trasmessa; un ragguaglio delle vibrazioni delle corde musicali e della coincidenza delle loro pulsazioni come causa dell'armonia; con una descrizione dello sperimento originale, cotanto esteso dappoi, delle figure regolari prese dall'arena sparsa su di un piattello che si faccia vibrare. Questi soggetti, insieme con quello della forza dei raggi, formano la materia principale di questi Dialoghi.

Compiuti i « Dialoghi sul moto » Galileo tornò nuovamente al metodo di determinare la longitudine per mezzo degli ecclissi dei satelliti di Giove ed entrò in una discussione di questo e di altri divisamenti. Morin, filosofo francese, aveva proposto verso il 1636 un mezzo che non è in fatto altro che il metodo delle distanze lunari. Galileo vi fece obbiezioni che a quel tempo erano

insuperabili, per l'impossibilità pratica di eseguirlo con la necessaria esattezza attesa la mancanza di tavole e di mezzi strumentali. Egli naturalmente preferiva il proprio metodo, delle cui difficoltà pratiche pare che non si fosse accorto.

Si è fatta questione se la priorità dell'applicazione del pendolo all'orologio sia da attribuirsi a Galileo o a Huygens. Osserveremo soltanto che Galileo non l'ha mai pretesa, e che non ci pare esservi ragione di privare Huygens di questo merito (1).

Non ostanti le crescenti infermità della vecchiaia e le ripetute malattie di Galileo, tale era ancora l'accanimento de' suoi persecutori che per lungo tempo gli fu negata la permissione di andare a Firenze per migliorarvi la salute. Finalmente nel 1638 gliene fu data licenza con istento e con rigorose restrizioni. Pochi mesi dopo tornò ad Arcetri, dove la sua vista cominciò a indebolirsi, ed in breve ad estinguersi intieramente. Tuttavia aveva di quando in quando continuato a fare osservazioni astronomiche, e il fenomeno della librazione della luna fu l'ultima delle sue numerose scoperte.

Le restrizioni cui andava soggetto furono finalmente diminuite al punto che i suoi amici avevano libero accesso presso di lui; e persone del più alto grado e della più gran distinzione gli si affollarono intorno per esprimergli la loro ammirazione e la loro simpatia quando non era più pericoloso il farlo. Molti uomini eminenti di altre contrade, e fra questi Milton, andarono a visitarlo; alcuni vennero anzi in Italia al solo

(1) Questo punto è discusso nella vita di Galileo del Drinkwater pag. 98.

oggetto di vederlo e di godere della sua conversazione che aveva conservato tutta la sua attrattiva.

In aggiunta alle altre sue infermità divenne pur anche sordo; ma le sue facoltà intellettuali rimasero intatte, ond'era solito a lagnarsi che la sua testa fosse troppo occupata pel suo corpo. Infatto egli non cessava di specolare ampiamente sulla meccanica, coll'idea di continuare i « Dialoghi sul moto », quando in mezzo a queste occupazioni fu di nuovo assalito da'suoi malori e morì gli 8 di gennaio 1642.

Il suo testamento fu impugnato come quello di un eretico, e gli si negava persino la sepoltura. Finalmente si permise che fosse seppellito oscuramente; ma non si concedeva l'erezione di alcun monumento sulla sua tomba. Il suo discepolo Viviani fece tuttavia coniare medaglie in commemorazione di lui; e un secolo dopo gli s'innalzava un monumento in Santa Croce a Firenze.

Per ultima sventura una collezione de' suoi scritti inediti rimasti presso la sua famiglia fu soggetta ad essere espurgata, e quei pochi che furono lasciati nelle mani del suo nipote Cosimo, furono da costui consegnati volontariamente alle fiamme come pietoso sacrificio prima di consecrarsi alla vita di missionario.

Non possiamo conchiudere meglio la nostra notizia di Galileo e delle sue scoperte, se non citando il bel compendio del suo carattere e delle sue fatiche dato dal professore Playfair.

« Uno si forma tuttavia un' imperfettissima idea di questo filosofo considerando le scoperte e le invenzioni, per numerose e splendide che siano, di cui è indubitatamente autore. Egli è, seguendo i suoi raziocinii, e la concatenazione de' suoi pensieri, nella sua

elegante, sebbene alquanto diffusa maniera di esporli, che veniamo a conoscere la fertilità del suo genio, la sagacità, la penetrazione e la vastità della sua mente. Il benefizio da lui fatto al vero sapere debbe stimarsi non solamente dalle verità che ha scoperte, ma dagli errori che ha svelati; non tanto dai sani principii che ha stabiliti, quanto dagl'idoli perniciosi che ha atterrati. Il suo acume si mostrò specialmente nella destrezza con cui palesò gli errori de' suoi avversari e confutò le loro opinioni, paragonandone una parte coll'altra e provando la somma loro contraddizione. Di tutti gli scrittori vissuti in un'età che usciva appena dall'ignoranza e dalla barbarie, Galileo è quello che ha quasi in tutto il tuono di una vera filosofia; ed è più libero da ogni contaminazione dei tempi, in gusto, sentimento ed opinione ».

Per mezzo degli scritti di Copernico, di Keplero e di Galileo, il sistema solare e la serie subordinata delle verità che si riferiscono alla teoria del moto, furono così stabilite e vittoriosamente dimostrate, che null'altro mancava se non il tempo per fare che le opinioni degli uomini gradualmente si volgessero alla verità. I fautori pregiudicati degli antichi sistemi sparvero a mano a mano dalla scena, e la crescente generazione venne, con mente vergine, a profittare della nuova luce. In pochi anni Ticone e Tolomeo non ebbero più seguaci.

Accoglimento fatto alle nuove scoperte (1)

L'accoglimento fatto da Roma alla nuova filosofia è un punto troppo notevole in questo periodo della sua

(1) Avverta il lettore che l'autore di quest' opera essendo protestante Anglicano, e li non può trattenersi dall' abbondare nel suo senso, e che

storia; perchè vi si passi sopra senza qualche breve osservazione.

Parrebbe, a primo tratto, che la scuola teologica non avesse nulla a temere dai progressi della scienza sperimentale; ma convien ricordarsi che la filosofia Aristotelica si era da lunga mano così incorporata con essa, e le sue specolazioni vi erano così strettamente mescolate, anche nelle cose riguardanti la fisica, che ne veniva quasi a formare una parte integrante. Quindi ogni tentativo d'impugnarla era in certo modo riguardato come un'eresia.

Se guardiamo al trattamento provato da alcuno dei primi promotori delle nuove scoperte, troviamo una differenza che, sebbene sia a prima vista inesplicabile, tuttavia, venendo alquanto considerata, ci può dare una più chiara idea della vera natura del caso. Copernico e Foscarini insegnarono le stessissime dottrine insegnate da Bruno, da Keplero e da Galileo; eppure i primi furono ricevuti in grandissimo favore, come si è veduto, mentre gli altri furono soggetti ad incessanti e severe molestie. Non erano forse tutti colpevoli delle medesime opinioni ed egualmente pericolosi? Le loro dottrine erano per verità le stesse, ma abbiamo osservato una considerevole differenza nella maniera e nelle circostanze della loro promulgazione e nell'indole dei promulgatori.

Copernico tenne in prima prudentemente le sue opinioni ristrette nel circolo de' suoi conoscenti, lasciando poscia che si facessero silenziosamente strada fra gli

perciò le cose dette intorno alle persecuzioni sofferte da Galileo vogliono riguardarsi come in qualche parte dettate da spirito di setta, principalmente là dove si fa allusione ai motivi che diedero luogo al procedimento contro quell'illustre filosofo. ***

astronomi, senza alcuna discussione o appello al giudizio popolare; e i suoi scritti erano troppo profondi, troppo aridi ed astrusi perchè potessero passare nelle mani dell'universale dei lettori.

Foscarini manifestò la più devota sommessione alla autorità della Chiesa, ed insinuò la teoria Copernicana, conciliandola coi dommi del teologo.

Galileo, al contrario, siccome si è veduto, non potè trattenersi dal chiaramente e pubblicamente spiegare le verità che aveva scoperte, e dal farlo nella forma più popolare; e non che assalisse i dommi d'Aristotile in disputazioni astruse, ma ne metteva l'autore in ridicolo dinanzi alla folla de' suoi uditori. I suoi scritti erano tali da poter esser letti da tutti; composti in un vivace e piacevole stile, spiegano a vicenda tutta la profondità della scienza, le attrattive dell'eloquenza e il pungente della satira, e non possono non animare il lettore di una parte dello spirito con cui sono dettati.

Bruno, senza alcun tentativo di nascondere o di conciliare, arditamente sostenne le verità della scienza induttiva, e denunziò con veemenza gli errori delle scuole.

Keplero uscì persino del suo soggetto per assalire il clero su punti che non avevano connessione con le sue scoperte; quantunque non sia da dubitarsi che i suoi scritti contenessero già cose sufficienti perchè il clero li condannasse.

Copernico fu appena noto per alcun'altra investigazione fuori di quelle connesse col sistema solare. Galileo acquistò una fama più estesa e più popolare per la sua più evidente invenzione del telescopio e per la serie di splendide scoperte cui esso diede luogo; e questo procurò una celebrità alle sue più astruse spe-

colazioni che da se stesse non avrebbero forse acquistata, e fu cagione della più rapida promulgazione di qualche cognizione delle sue scoperte in tutte le classi.

Quindi possiamo, anche da un sì lèggiero paragone, chiaramente ricavare un motivo di distinzione, in ciò che in un caso la dottrina non poteva diffondersi gran fatto, o si diffondeva sotto una forma comparativamente neutralizzata, e solamente fra coloro che erano i più sicuri contro i suoi cattivi effetti; nell'altro minacciava d'infettare tutto il corpo del popolo, e la sua nociva influenza veniva a spandersi per tutte le ramificazioni della società. Oltre a ciò, quello che principalmente distingueva la parte offenditrice si era lo *spirito* e la *maniera*, e una certa temerità con cui il soggetto era trattato, gli amari e potenti sarcasmi, il coraggioso appello ad un giudizio spregiudicato, il rigettare le pastoie dell'autorità del gran maestro, e l'ardire senza freno tanto nell'assalto, quanto nella difesa.

Per verità, la conservazione delle dottrine di Aristotile, come dommi astratti, non era se non un punto di considerazione secondario. Esse sostenevano bensì il sistema scolastico dei teologi, ma erano di un altro uso pratico più importante; la principale bellezza della filosofia Aristotelica era stimata esser questa, che esauriva tutto il soggetto di cui si trattava, e lo riduceva ad un sistema perfetto; cosicchè non v'era nuova scoperta che vi potesse aggiungere alcuna cosa.

L'avvezzare adunque gli scolari a questa specie di filosofia, e l'instillare accuratamente negli animi loro l'idea della perfetta falsità di ogni altra specie, aveva un'applicazione ovvia e inestimabile, nel distruggere l'inclinazione stessa a tentare nuove investigazioni in qualunque materia, e nel sottomettere le menti ad un

sistema fisso ed inalterabile che non lasciava luogo a dubitazioni. Quindi l'estrema importanza di reprimere ogni infrazione a questa disciplina, affine di estinguere in tali materie ogni disposizione alla libertà del pensare.

Epperò era comparativamente una picciola offesa il proporre un'ipotesi filosofica qualunque come una discussione astratta, specialmente se si faceva cautamente e con professioni illimitate di deferenza. Ma era delitto imperdonabile lo spiegare un disprezzo manifesto dell'autorità della scuola, e l'enunciare opinioni con un'audacia ed una confidenza che dimostravano e richiedevano l'esercizio di un giudizio non inceppato e di una libera investigazione. Non erano tanto i dommi Aristotelici che si era sollecito di sostenere, quanto il principio di una cieca sommessione all'autorità; non era la teoria del moto della terra che si cercava di sopprimere, ma lo spirito di libera discussione. In una parola poco significava quali fossero le vere idee di un uomo, purchè piegasse il capo all'autorità e non osasse pensare a sua posta.

Queste cose premesse possiamo dare una spiegazione soddisfacente del trattamento favorevole provato da coloro che in una maniera sommessa e conciliatoria introdussero i nuovi dommi, in paragone delle persecuzioni che uomini, qual era Galileo, ebbero a soffrire. Agli occhi di coloro che volevano una cieca sommessione, essi erano necessariamente oggetti di perpetuo odio e sospetto; e nelle scuole che fondavano i loro insegnamenti non sul convincimento della ragione ma sull'autorità, le dottrine di Galileo dovevano essere riguardate con avversione e timore.

Ma la persecuzione non ebbe forza d'impedire il

progresso del sapere, che anzi ne promosse piuttosto la diffusione, e la libera discussione delle verità fisiche ha d'allora in poi progredito con accelerata rapidità. Gli occhi degli uomini si aprirono sempre più alle vere leggi e al vero ordine della natura, e furono portati a riconoscere novelle prove della gran mente del Creatore in ogni parte, mentre il cristianesimo non ha sofferto la menoma scossa.

Così la scienza trionfava di ogni ostilità; ma in altri casi abbiamo osservato uno spirito più pacifico accompagnato da tentativi di conciliazione.

Foscarini cercò di conciliare l'autorità col nuovo sistema, con quella specie di glosse ingegnose dei testi opposti che si sapevano impiegar così bene in altri casi e per cui si poteva dare a qualunque passo un senso qualunque che si richiedesse. Egli riuscì almeno nel suo tentativo di mettersi a coperto dalle persecuzioni.

Il caso di Ticone Brahe offre un notevole ed istruttivo contrasto. Egli pure seguì il sentiero della conciliazione fra gli opposti sistemi. Ma Ticone, sincero e zelante, venerava la lettera medesima di ogni parte della Scrittura altrettanto devotamente quant'altri i decreti della Chiesa. Quindi non era meno scandolezzato all'idea del movimento della terra; ed abbiamo veduto in che modo scartasse questa difficoltà.

Così l'uno tentava di piegare la Scrittura al fatto, e l'altro il fatto alla Scrittura, ma entrambi i tentativi riuscirono vani. Le spiegazioni ortodosse del Foscarini sono sconosciute, e la pia teoria di Ticone è rigettata e posta in dimenticanza; la dottrina di Copernico ha trionfato, e tuttavia le verità della Rivelazione stanno inalterate e inalterabili sull'inconcusso fonda-

mento della loro prova morale, mentre la teologia naturale ha trovato in questo stesso sistema il più potente de' suoi argomenti.

Ma, si dirà, non esistono vere e patenti contraddizioni? E come si avranno queste a vincere? Le parole di Galileo nella sua mirabile lettera alla gran duchessa di Toscana danno una risposta cui anche al giorno presente pare che non si possa aggiungere nulla che porti maggior convincimento: — « Stimerei che l'autorità delle sacre lettere avesse avuto la mira a persuadere principalmente agli uomini quegli articoli e proposizioni, che, superando ogni uman discorso, non potévano per altra scienza, nè per altro mezzo farcisi credibili che per la bocca dell'istesso Spirito Santo.... Ma che quello istesso Dio, che ci ha dotati di sensi, discorso e d'intelletto, abbia voluto, posponendo l'uso di questi, darci con altro mezzo le notizie che per quelli possiamo conseguire, sicchè anco in quelle conclusioni naturali, che o dalle sensate esperienze, o dalle necessarie dimostrazioni, ci vengono esposte innanzi agli occhi e all'intelletto, dobbiamo negare il senso e la ragione, non mi pare che sia necessario il crederlo...... Mi par che nelle dispute de' problemi naturali, non si dovrebbe cominciare dall'autorità dei luoghi delle Scritture, ma dalle sensate esperienze, e dalle dimostrazioni necessarie, perchè procedendo di pari dal Verbo Divino, la Scrittura Sacra, e la Natura, quella come dettatura dello Spirito Santo e questa come osservantissima esecutrice degli ordini di Dio...... pare, che quello che gli effetti naturali o la sensata esperienza ci pone innanzi agli occhi, o le necessarie dimostrazioni ci concludono, non debba in conto alcuno esser rivocato in dubbio non che condennato, per

luoghi della Scrittura che avessero nelle parole diverso sembiante, poichè non ogni detto della Scrittura è legato ad obblighi così severi, come ogni effetto di natura: ecc. »

In una parola, l'*oggetto* della rivelazione è di un genere totalmente distinto dall'insegnamento della scienza; e le parti *incidentali* di un libro debbono, secondo ogni ragione e giustizia, essere riguardate sotto un aspetto tutto diverso da quello con cui si riguardano i suoi punti *essenziali*.

Ma si dirà che nessuno più dubita della verità del sistema solare, e che niuno è indotto a rigettare la rivelazione, perchè sembri in opposizione a quello.

Tuttavia è un fatto che molti ancora al giorno d'oggi adducono le stesse difficoltà e le stesse obbiezioni; non certamente intorno al sistema solare che (con molta inconseguenza) ammettono, ma relativamente alle scoperte in altre parti della scienza e particolarmente in geologia. Abbiamo anche ai tempi nostri alcuni zelatori animati da uno spirito di persecuzione, ma fortunatamente senza potere di esercitarlo. Abbiamo pure « mutato nomine » i nostri Ticoni e i nostri Foscarini; ma noi avremo profittato assai poco della sperienza della storia se non avremo imparato ad evitare gli errori di quei tempi; intanto troveremo sicuramente che gli stessi principii, con tanta eloquenza sostenuti da Galileo, sono quelli che possono efficacemente premunire la religione e la scienza da ogni abuso e pervertimento.

SEZIONE IV

Contemporanei e successori di Galileo: Filosofia Baconiana e precursori di Newton

Nel procedere a descrivere i progressi della scienza, siccome promossa dalle fatiche dei contemporanei e dei successori immediati di quei grand'uomini, le cui splendide scoperte hanno occupata tutta la nostra attenzione nella sezione precedente, troviamo varie parti di ricerche fisiche assumere nelle loro mani un assai più esteso e migliorato carattere.

Faremo in primo luogo menzione di alcuni miglioramenti nelle matematiche, che appartengono alla prima parte del secolo decimosettimo, e passeremo poi ad esaminare la filosofia di Bacone, la promulgazione della quale forma uno dei principali lineamenti della letteratura di quell'età. Volgeremo quindi uno sguardo alle varie fatiche di quella serie illustre di filosofi che furono discepoli di Galileo e di Bacone e precursori di Newton; inchiudendovi uno che involontariamente aggiunse prove alla verità dei loro principii, tentando d'innalzare un'imponente ma illusoria teoria di un diverso genere, la quale comparve sull'orizzonte filosofico come una splendente meteora, che conteneva gli elementi della sua propria distruzione.

Miglioramenti nelle matematiche

Nei periodi anteriori della storia scientifica (siccome abbiamo già avuto occasione di osservare) il progresso delle matematiche pure aveva poca con-

nessione con quello delle cognizioni fisiche. Nell'età di cui trattiamo adesso, allorchè gran cambiamenti avevano cominciato ad operarsi nei diversi rami della scienza, e nelle relazioni fra loro, troviamo che il progresso di ciascheduno dipende più da vicino da quello dell'altro. In proporzione che la combinazione delle matematiche con le ricerche fisiche fu più generalmente riconosciuta, i progressi di queste resero necessario qualche miglioramento materiale in quelle, e questa necessità una volta sentita fu il mezzo più efficace di sviluppare le forze del genio matematico, per somministrare quei metodi che i bisogni delle investigazioni fisiche richiedevano.

La scoperta delle leggi di Keplero aveva offerto una chiara prova della connessione di fenomeni per via di relazioni numeriche; ma la scoperta aveva costato una fatica quasi incredibile nella sola parte del calcolo. Se riguardiamo alle *felici* teorie dell'autore; la massa delle cifre per cui giunse a stabilirle fu enorme; e queste teorie presentavano solamente alcune leggi generali, cui le crescenti scoperte dell'astronomia tosto aggiunsero la necessità di un supplimento di numerose investigazioni, tutte del pari richiedenti faticosi e lunghi calcoli, non solo per verificarle in sul principio, ma per farne poscia un uso pratico nelle varie applicazioni che su di esse dovevano essere fondate.

Con le quantità, per esempio, quali sono i seni e le tangenti delle tavole, portate solamente a cinque o sei cifre decimali, un calcolo semplicissimo qual è quello di trovare una quarta proporzionale diviene molestissimo se occorre frequentemente, e in una lunga serie di calcoli si viene a richiedere un quasi insopportabile sagrificio di fatica e, ciò che è peggio, di tempo; mentre

l'estrazione di radici e le operazioni più complesse, spesso ripetute, diverrebbero presto spaventevoli al più determinato calcolatore. In fatto, coi metodi adoperati verso il principio del diciasettesimo secolo, la sola circostanza dell'enormè fatica di calcolo sempre crescente, debbe avere di necessità seriamente impedito, se non al tutto arrestato, il progresso delle ricerche astronomiche e fisiche, le quali in altri rispetti cominciavano a dar tante speranze. Quindi qualche metodo di abbreviare l'improba fatica del calcolatore diveniva ogni giorno più imperiosamente necessario; e troviamo appunto un notevole esempio del potere di un genio inventore ed originale, che si presenta a rimuovere queste difficoltà ed a somministrare il così desiderato stromento di calcolo, precisamente al tempo in cui se ne aveva maggiormente bisogno.

Napier — Logaritmi

Sia che stimiamo il pregio delle invenzioni dalla loro utilità pratica, o dalla sottigliezza del loro principio, dobbiamo ad ogni modo apprezzare, come invenzione di altissima importanza, quella dei Logaritmi di Napier da Merchiston. Egli era nato di una nobile famiglia nel 1550, ed aveva goduto di tutti i vantaggi che la migliore educazione di quei tempi poteva conferire. Sembra che rivolgesse a buon'ora la mente agli studi aritmetici ed astronomici, e che presto avvedendosi delle crescenti difficoltà che abbiamo menzionate, fosse indotto a tentare vari mezzi meccanici per abbreviare le operazioni. Uno di questi è conosciuto sotto il nome di verghe od ossi di Napier (per la sostanza di cui lo stromento è composto), e dà un ingegnoso aiuto mecca-

nico nella moltiplicazione. Egli spiegò questo metodo in un'opera chiamata « *Rabdologia* » nel 1616; ma esaminando il soggetto sotto tutti i suoi aspetti presto trovò un principio matematico assai più alto, che gli offrì un metodo altrettanto semplice quanto potente, e che non solamente discusse in teoria, ma ridusse in una forma pratica.

Si è detto che di questo principio si trova almeno un cenno negli scritti di Archimede; questo tuttavia è solamente vero in ciò che quell'osservazione del filosofo serve precisamente a suggerire la difficoltà principale che fu gloria particolare di Napier di aver vinta.

Il primo suggerimento del principio può essere spiegato in questo modo: — Se supponiamo una serie di numeri in *progressione geometrica*, ognuno che sia passabilmente versato nell'aritmetica vedrà che, se due termini qualunque in tal progressione sono moltiplicati insieme, il prodotto sarà pure un termine nella medesima serie, e vi si troverà se la serie sarà stata sin dal principio bastantemente proseguita. E possiamo sempre dire *a che termine* sarà per trovarsi: poichè sarà quel termine il cui *numero*, contando dal principio, è la *somma* dei numeri dei due termini che debbono essere moltiplicati. Quindi per trovare il prodotto del terzo e del settimo termine basta prendere il numero che forma il decimo termine della serie. È pur anche evidente che questi *numeri* dei termini sono eziandio gli *esponenti* delle potenze del moltiplicatore comune che entrano rispettivamente in ciascun termine. Questa è l'idea madre che si può supporre essere suggerita da un passo di Archimede.

Epperò se i nostri calcoli non involvessero mai altri numeri fuorchè quelli che sono termini in una pro-

gressione geometrica, non avremmo a far altro che *sommare gli esponenti* e ricavare così direttamente il prodotto, o, reciprocamente, sottrarli e trovare il termine che è il quoziente. Ancora, duplicando, triplicando, ecc. gli esponenti, troveremmo i loro prodotti indicare un termine che sarebbe rispettivamente il quadrato, il cubo, ecc. del termine originale; e, reciprocamente, avremmo le radici quadrate, cubiche, ecc. Sin qui tutto era bastantemente chiaro e semplice.

Ma qui nasceva la difficoltà principale: questo si applicava soltanto a pochissimi sistemi limitati di numeri, e non poteva essere di alcuna generale utilità pratica. La grande scoperta di Napier ammontava adunque a questo: — Potersi trovare una progressione geometrica in cui TUTTI *i numeri naturali* sono termini.

Dei metodi coi quali arrivò a questa conclusione, o del principio generale sul quale si può determinare una tal serie, non possiamo qui parlare a lungo; ma illustreremo sufficientemente la cosa con un esempio. Se supponiamo una serie geometrica il cui primo termine sia 10, e il cui comune moltiplicatore sia pur anche 10, egli è evidente che il secondo termine sarà 100 oppure 10 alla potenza il cui esponente è 2; il terzo sarà 1000, o 10 alla potenza di 3, ecc. Ma siccome in algebra l'idea di potenze inchiude quelle i cui esponenti sono un numero qualunque, intero o frazionale, vi possono esistere termini intermedii a questi che saranno potenze di 10, i cui esponenti sono frazioni o numeri misti intermedii a tutti gli esponenti. Dietro questo principio avremmo, per esempio, 40, come termine nella serie fra 10 e 100, il quale è una potenza di 10 il cui esponente sia il numero misto 1,602. E portando la serie indietro a numeri inferiori

a 10, troviamo 5 essere potenza di 10 il cui esponente sia la frazione 0,6989; ed 1, secondo un ben noto principio d'algebra è la potenza di 10 il cui esponente è 0.

In una parola, tutti i numeri naturali possono trovare i loro luoghi, introducendoli fra i termini di una tal serie, e gli *esponenti* corrispondenti sono chiamati LOGARITMI (1). Diversi sistemi di logaritmi possono essere formati secondo che si assumeranno diverse serie geometriche. Il trovare i mezzi di determinare queste serie e di calcolare gli esponenti dei numeri naturali o, reciprocamente, i numeri dagli esponenti, è stato soggetto dei profondi studi dei moderni analisti, che hanno divisato vari metodi a un tal fine; ma tutto l'onore di avere il primo trovata la cosa appartiene esclusivamente a Napier.

E stato detto che Napier aveva avuto un cenno di qualche metodo di questa natura attribuito a Longomontano; ma per l'assenza di ogni indizio di un tale principio negli scritti di questo, e di ogni suo richiamo o pretesa, non possiamo dare alcuna importanza a questa storia. Napier associò alle sue fatiche l'amico suo Briggs che si tratteneva con lui liberamente sui miglioramenti di cui il suo sistema era capace. Tuttavia Napier, pubblicò il suo « *Canon mirificus logarithmorum* » nella forma in cui l'aveva originariamente divisato nel 1614, lasciando a Briggs la cura di calcolare una nuova serie di tavole su di un altro sistema o serie con una base diversa, cosa che questi perfezionò poscia ed offrì molti vantaggi pratici.

(1) Λογος; ragione; *αριθμος*, numero; — numeri, o misure di ragioni.

Il gran principio dell' invenzione di Napier è di natura tale da eccitar sempre ammirazione per la sua singolare combinazione di semplicità e di potere; ma non possiamo apprezzarne tutto il merito senza rammentarci lo stato dell'algebra a' suoi tempi. La teoria generale degli esponenti era appena intesa, nè le forme delle serie erano investigate in modo da procurargli alcuna facilità pe' suoi calcoli. Quindi il concepire l'idea fondamentale che tutti i numeri potevano essere riguardati come potenze di un dato numero, e il divisare gli attuali mezzi di trovare gli esponenti di quelle potenze, si vogliono confessare essere state indicazioni di un genio di primo ordine. Lo stato della scienza non aveva menomamente preparato la strada per simili concezioni, e tutti i mezzi per perfezionarle furono somministrati dalle facoltà originali della gran mente dell'inventore. Questa invenzione è pure stata notevole sotto un altro aspetto. La maggior parte delle altre scoperte uscirono a principio in uno stato comparativamente imperfetto dalle mani degl' inventori, e ricevettero poscia la loro perfezione dalle successive fatiche di coloro che calcarono le orme degli scopritori originali; ma il sistema dei logaritmi uscì dalle mani del suo autore così perfetto che non ricevè mai se non un solo miglioramento materiale, e questo trasse origine, come poco fa si è osservato, dagli ingegnosi suggerimenti dell' amico dell' illustre inventore uniti alle sue proprie osservazioni. Gli ulteriori progressi nella scienza invece di rendere inutile quest' invenzione con trovar nuovi metodi, hanno solamente ampliato il circolo delle sue applicazioni, e confermato maggiormente la sua utilità.

L'originalità della concezione con cui Napier illustrò

quest'idea, e sulla quale fondò i suoi teoremi, la rende degna di essere riferita; tanto più che principii non dissimili furono poscia tentati relativamente a un soggetto diverso e diedero luogo ad una gran discussione. Per trovare i luoghi relativi nell'interpolazione che debbono essere occupati dal numero e dall'esponente o logaritmo, egli abbracciò la supposizione di due punti descriventi due linee diverse, l'una con velocità costante, e l'altra con velocità sempre crescente nella ragione dello spazio già percorso dal punto. La prima di queste genererebbe grandezze in progressione aritmetica, e la seconda grandezze in progressione geometrica. Su questo principio dimostrò la sua regola per trovare i logaritmi dei numeri.

Non è questo tuttavia il solo monumento del profondo ingegno matematico di Napier. I due teoremi e regole conosciute sotto il suo nome, assolutamente involvono tutti i casi più importanti della soluzione dei triangoli sferici. Essi furono pubblicati ad un tempo col suo « Sistema di logaritmi »; quantunque fossero prima comunicati in manoscritto a Cavalieri che ne parla con grand'elogio. Il carattere intellettuale di Napier presenta un esempio di quelle singolari ineguaglianze che non di rado sono segni di un gran genio. Esatta e comprensiva quale era la sua mente nelle verità matematiche, non poteva egualmente discernere le altre, onde s'impegnò seriamente, e con persuasione di non errare, in un comento puerile in cui si credette di aver spiegati tutti i misteri dell'Apocalisse. Morì nel 1622.

Fra coloro che in questo periodo contribuirono grandemente al progresso del sapere matematico non dobbiamo ommettere di far menzione di Sir Arrigo Savile.

Fattosi conoscere nell'università di Oxford per la sua dottrina nelle matematiche, verso l'anno 1575 vi lesse volontariamente su questa scienza. Gli furono poscia conferiti vari impieghi e fu meritamente stimato qual uomo di cognizioni universali. Nel 1609 fondò a Oxford due cattedre per l'astronomia e la geometria, sperando, come espressamente dice, di dare qualche stimolo ed incoraggiamento a questi studi « allora così generalmente trascurati nell'università ». Le sue lezioni furono pubblicate nel 1620, e comprendono un elaborato comento su di Euclide. Nominò Bainbridge e Briggs ad occupare i primi le cattedre da lui istitute, e morì nel 1621.

Briggs è già stato menzionato come amico di Napier. Egli perfezionò l'invenzione di lui calcolando logaritmi su di un altro sistema meglio adattato alla pratica; quello cioè che è stato poscia generalmente seguito. Egli pubblicò pure la prima parte di un'opera intitolata: « Trigonometria Britannica ». Fu uno dei primi professori del collegio Gresham, fondato in quel torno da un eminente mercatante Londinese di questo nome, e che, per quasi un secolo, continuò ad essere illustrato da alcuni dei primi filosofi di quel tempo; ma venne poscia a decadere ed a ridursi alla ripetizione formale di certe lezioni per cui si trovano raramente uditori. L' « Arithmetica logarithmica » di Briggs, pubblicata nel 1624, è notevole per contenere la prima enunciazione della legge per cui i coefficienti sono formati nell'involuzione di una quantità binomia a qualunque potenza intera, legge che è stata poscia cotanto ampliata ed ha acquistato tanta importanza. La relazione di queste quantità ed una maniera di formarle erano per verità state mostrate da Stiphelius e da Cardano.

Filosofia di Bacone

Lo zelo e l'ingegno con cui Galileo aveva proseguite le sue ricerche sperimentali, il coraggio con cui mise in chiara luce i difetti della filosofia delle scuole, la confidenza con cui aveva appellato alla testimonianza dello sperimento e dell'osservazione, e soprattutto il glorioso successo che aveva coronato le sue fatiche, e la fama universale che si era così meritamente assicurata, — tutto concorse a dare un stimolo così potente al progresso delle investigazioni sperimentali a quel tempo, che non mai prima, nè forse dopo ha provato l'eguale.

Ma per potente che fosse l'*impulso*, v'era poco che servisse di guida agl' investigatori in una giusta *direzione*. Galileo aveva lasciato pochi principii da cui si potessero ricavare regole sistematiche di filosofare. Egli aveva combattuto e quasi annientato i metodi artifiziali ed illusorii delle scuole, ma non aveva (almeno formalmente) eretto un altro sistema in loro luogo. La logica Aristotelica aveva professato di somministrare regole infallibili, ed aveva indicati sentieri facili ed aperti, in cui la filosofia potesse procedere e spaziare con sicurezza; ma nulla di questo genere era stato sostituito in suo luogo, quando tutto ciò fu demolito. Supplire a questa mancanza e dare un sistema perfetto, distintamente opposto a quello di Aristotile, fu il disegno concepito ed eseguito dal padre della filosofia induttiva.

Francesco Bacone nacque nel 1561, passò al collegio della Trinità di Cambridge nel 1573, ed essendo

per tempo conosciuto dal suo sovrano per lo splendido suo ingegno, finalmente giunse all'eminente carica di cancelliere nel 1618; col titolo di barone di Verulamio. In mezzo ai doveri de' suoi impieghi continuò a coltivare la filosofia, la quale, nel rovescio della sua fortuna accaduto nel 1621, gli procurò i maggiori conforti, mentre la solitudine gli diede agio di perfezionare quelle opere immortali su cui è fondata la sua fama. Morì nel 1626 di un' infreddatura colta nello attendere ad uno sperimento filosofico.

Ma sebbene egli rivolgesse la sua attenzione alle ricerche stesse sperimentali, e quantunque vi sia poco da dubitare che molte di quelle illustrazioni tratte da sperimenti, di cui i suoi scritti abbondano, e che adesso il lettore è tentato di lasciar da parte come troppo ovvie, fossero a quel tempo saggi altamente originali del modo d'investigare che raccomandava; tuttavia non erano di un genere che potesse condurre ad alcuna scoperta fisica d'importanza. L'alto grado cui si è innalzato come filosofo e come fondatore della filosofia induttiva, è dovuto piuttosto alla vastità del suo genio che abbracciò tutte le parti e tutta l'estensione della scienza naturale, afferrò i più alti principii di quasi ogni ramo di ricerche fisiche, e descrisse il metodo da seguirsi per portarle alla loro perfezione. Egli previde i risultamenti che se ne dovevano quindi ottenere, e insegnò il modo di arrivarvi. Spaziò con lo sguardo come da un luogo eminente, sulla ricca e varia regione che doveva divenire il patrimonio della filosofia, e somministrò una guida perfetta per le strade e pegli stretti per cui si dovevano fare le scorrerie della scienza e la conquista del territorio doveva essere assicurata.

Sebbene la maggior parte degli scritti di questo grand' uomo siano pieni di pregevoli illustrazioni e suggerimenti atti a potentemente promuovere l'avanzamento delle scienze, tuttavia l'opera su cui la sua fama principalmente riposa e per cui il suo nome è associato, in un modo che non può perire, coll'esistenza della filosofia induttiva, si è il « Novum organon ». Il titolo fu scelto ad imitazione di quello del gran sistema logico di Aristotile; e siccome quel trattato conteneva una classificazione sistematica dei vari capi cui un raziocinio sillogistico poteva esser ridotto, così il nuovo «Organon» era parimente inteso ad offrire un simile sistema tecnico, sotto il quale le varie specie di prove sperimentali potessero essere ordinate. Questa classificazione filosofica dei vari capi di argomento induttivo è concepita con la più profonda maestria; e quando consideriamo lo stato d'allora delle conoscenze fisiche, la nostra ammirazione non può a meno di accrescersi, vedendo la sagacità e l'acume che poterono prevedere e distinguere le classi particolari dei fatti sperimentali che sarebbero sempre le più utili per ricavarne i loro punti di generale accordo e per giungere alla generalizzazione. Il presentare il soggetto sotto una tal forma, era pure utilissimo in quell'età, perchè andava a seconda della prevenzione favorevole a un metodo sistematico, e porgeva un sostituto all'antico sistema, che in parte gli somigliava.

Alcuni stimeranno forse che tutta la discussione sia arida e tediosa, e riguarderanno i nomi dati alle diverse classi di argomenti come fantastici, e lo stile come pedantesco e vanitoso; ma le profonde osservazioni che adornano ogni pagina, le luminose e maestrevoli illustrazioni delle varie tesi e le profetiche predizioni di

future scoperte, non possono non eccitare un sentimento di ammirazione pel trascendente ingegno dell'autore, ed una generale confessione del beneficio che ne venne alla scienza dal sistema promosso nella sua opera. Del quale sistema daremo adesso un rapido cenno.

Dopo alcune osservazioni introduttorie sullo stato della scienza, l'autore passa a notare che, nel modo di filosofare d'allora, si faceva una subita transizione dagli oggetti sensibili e da fatti particolari a proposizioni generali, che si consideravano come principii, e attorno ai quali, come intorno ad altrettanti poli fissi, le disputazioni e gli argomenti continuamente si aggirano. Dalle proposizioni che così in fretta si assumono, tutte le cose vengono derivate con un metodo compendioso e precipitato, mal atto alle scoperte, ma maravigliosamente adattato al disputare.

La strada che promette un felice esito è l'opposta a questa; essa richiede che si generalizzi lentamente, passando dalle cose particolari a quelle che sono solamente di un grado più generali; da queste ad altre di maggiore estensione, e così di seguito sino a quelle che sono universali. Con questi mezzi possiamo sperare di giungere a principii, non vaghi ed oscuri, ma luminosi e ben definiti, e tali che la natura stessa non ricusi di riconoscerli.

Prima di dare le regole da osservarsi in questo processo induttivo, Bacone si fa ad enumerare le cause di errore, ossia gl' *idoli*, com' egli li chiama nel suo linguaggio figurato, o false divinità alle quali la mente è stata lungamente avvezza ad inchinarsi. Egli stimò che questa enumerazione fosse tanto più necessaria, in quanto che gli stessi idoli potrebbero tornare, anche dopo la riforma della scienza, e valersi delle vere sco-

perle che si sarebbero fatte per colorire i loro inganni. Egli divide questi idoli in quattro classi, ai quali dà nomi, fantastici in vero, ma abbondantemente significanti.

I primi sono gl'idoli della tribù (*idola tribus*), ovvero le cause di errore fondate sulla natura umana in generale e su principii comuni a tutti gli uomini. «La mente, osserva Bacone, non è come uno specchio piano che riflette le imagini delle cose esattamente quali sono; essa è come uno specchio di superficie ineguale che confonde la sua propria figura con le figure degli oggetti che rappresenta». Fra gl'idoli di questa classe, possiamo annoverare la propensione che tutti gli uomini hanno di trovare nella natura un maggior grado di ordine, di semplicità e di regolarità che non sia indicato dall'osservazione. Quindi tostochè gli uomini videro le orbite dei pianeti essere tonde, supposero immediatamente che fossero circoli, e che il movimento in questi circoli fosse uniforme; e con queste ipotesi così temerariamente e gratuitamente assunte per vere, gli astronomi di tutta l'antichità si affaticarono incessantemente per conciliare le loro osservazioni. La propensione che Bacone ha qui così bene caratterizzata è la stessa che dopo i suoi tempi è stata conosciuta sotto il nome di *spirito di sistema*; e la storia della scienza moderna pienamente giustifica il suo timore, che questa causa d'errore continuasse ad infettare la filosofia rinnovata; e pur troppo pare che lo stesso sia per accader sempre, perchè sgraziatamente l'illusione è fondata sullo stesso principio di associazione e di combinazione, dal quale il nostro amore del sapere prende la sua sorgente.

2° Gl'idoli della spelonca (*idola specus*) sono quelli che nascono dall'indole particolare dell'individuo. Ba-

cone s'imagina che ciascun individuo abbia la sua nera caverna, in cui la luce è imperfettamente ammessa, e nell'oscurità della quale abiti un idolo tutelare, sul cui altare la verità è spesso sagrificata. Qui egli osserva che una gran distinzione tra le capacità degli uomini è derivata da questo, che alcune menti sono meglio atte ad osservare le differenze, altre a notare le somiglianze delle cose; ciascuna di queste tendenze dà facilmente negli eccessi, e ciascun individuo è peculiarmente soggetto ad essere ingannato da impressioni dell'uno o dell'altro genere. Gli studi particolari cui un uomo si è particolarmente consacrato, hanno pure un grand'effetto nel rendere pregiudicata la sua opinione e parziale il suo giudizio.

3° Gl'idoli del foro o della piazza (*idola fori*) sono quelli che nascono dal frequentare la società, e specialmente dal *linguaggio*, che può divenire la guida e prendere il governo dei nostri pensieri, invece di essere solamente il simbolo convenzionale per esprimerli. Questo è molto affine all'eccellente osservazione di Hobbes, che le parole sono la moneta degli sciocchi, ma servono solo di gettoni per i savi.

4° Gl'idoli del teatro (*idola theatri*) sono gli errori nati dai sistemi e dommi delle diverse scuole di filosofia. L'idea di Bacone era questa, che ciascuno di quei sistemi metteva in sulla scena una rappresentazione di un mondo imaginario, quindi il nome dato a questi idoli. Essi non entrano naturalmente nella mente come gli altri, ma l'uomo debbe faticare per acquistarli, e spesso sono la conseguenza di una gran dottrina e di un gran studio. «La filosofia, dic'egli, siccome è stata sinqui coltivata, ha preso molto da poche cose, o poco da molte; e in ambi i casi ha una base troppo

stretta perchè possa essere di lunga durata o di molta utilità ». Egli chiama la prima specie filosofia empirica; essa prende tutti i suoi principii da pochi fatti; tale era a' suoi tempi la filosofia degli alchimisti. L'altra la chiama sofistica: e di questo genere erano tutti i sistemi fisici degli antichi, che quasi intieramente erano frutto dell' invenzione del filosofo.

Bacone procede quindi a delineare la storia dell'antica filosofia, e ad indicare le circostanze che sin allora avevano favoreggiato quei perversi metodi di filosofare. Mostra l'influenza della falsa ambizione da una parte, e le speranze visionarie dall' altra; i perniciosi effetti della riverenza per l' antichità e per l'autorità dei gran nomi, — della propensione ad indagare quelle sole cose che sono rare e di cui non si sa dar ragione, — e della trascuranza di quelle che giornalmente accadono. Dopo queste parti introduttorie, ma grandemente importanti, della sua opera, il gran ristauratore della filosofia passa nel secondo libro a descrivere e a dichiarare la natura di quel processo d' *induzione* che cerca di stabilire come la sola e vera via di investigare la verità fisica.

Il primo oggetto è di preparare una *storia* dei fenomeni da spiegarsi, in tutte le loro modificazioni e varietà; e giustamente si ferma sulla cura, diligenza e fedeltà con cui questa parte del lavoro debbe essere eseguita. Egli è in quest' ampio senso che impiega l'espressione *storia naturale*, tanto in questa quanto in altre parti de' suoi scritti.

Il secondo passo è un paragone dei diversi fatti, così descritti ed ordinati, per trovare ciò che Bacone chiama la *forma*. Questo è quasi sinonimo di ciò che chiameremmo la *causa* del fenomeno: cioè qualche cosa che è presente dove esiste la qualità particolare; e reci-

procamente dovunque la qualità è presente, debbe trovarsi parimente la forma. Così se la trasparenza sarà la qualità, vi debbe essere qualche costituzione particolare della materia (il che è l'oggetto dell'indagine), che è la forma o la causa di questa qualità.

Nel procurare di ottenere la conoscenza delle *forme* vi sono due punti subordinati di ricerche di un'importanza generale, i quali nel linguaggio dell'autore sono il *latens processus*, ed il *latens schematismus*. Il primo è il processo segreto ed invisibile per cui si operano cambiamenti sensibili, e sembra involvere lo stesso principio che è poscia stato chiamato *legge di continuità*, secondo il quale nessun cambiamento benchè picciolo può aver luogo se non nel *tempo*. Conoscere la relazione fra il tempo e il cambiamento in esso operatosi sarebbe avere una conoscenza perfetta del *processo latente*. Nello sparo di un cannone, per esempio, la successione degli avvenimenti, nel breve intervallo fra l'applicazione della miccia e l'espulsione della palla, costituisce un processo latente di un genere assai complesso. Lo *schematismus latens* è quella struttura invisibile dei corpi dalla quale tante delle loro qualità dipendono, come la struttura dei cristalli, ecc., o quella disposizione di particelle per cui la costituzione peculiare della materia relativamente all'elasticità, al magnetismo ecc. è determinata.

Nell' indagare le *forme* dei fenomeni, il primo passo vuol esser quello di vedere quali forme debbano, per la natura del caso, essere escluse. Questo limita il campo dell' ipotesi e ristringe le ricerche a minor cerchio. Epperò se indagassimo quella qualità che è la causa o forma della trasparenza, dobbiamo a un tratto escludere la rarezza o la porosità, perchè nel diamante

abbiamo un caso di un corpo densissimo che è pure trasparente. È pure grandemente importante di far attenzione ai casi negativi, come quello del vetro che quando è pesto non è più trasparente. Dopo che un gran numero di esclusioni hanno soltanto lasciato pochi principii comuni ad ogni caso, uno di questi debbe assumersi come causa, e la validità dell'ipotesi debbe essere provata ragionando da essa ipoteticamente, per vedere se può dar ragione di tutti i fenomeni. «All'uomo, osserva l'autore, è solamente dato di procedere da principio con negative, per terminare con un'affermativa dopo l'esclusione di ogni altra cosa». Egli spiega mirabilmente il suo metodo coll'esempio del calore, e proseguendo il processo raccomandato, per quanto il permetteva lo stato delle cognizioni di quei tempi.

Nel processo d'indagine induttiva così proseguito, non può essere che non occorra di trovare che alcuni fatti sono di molto maggior importanza che certi altri alla scoperta della verità. Alcuni di essi mostrano la cosa cercata nel suo più alto grado, altri nel più basso; alcuni la presentano semplice e non combinata; in altri appare confusa da una varietà di circostanze. V'hanno fatti facili a interpretarsi; altri assai oscuri, e solamente intelligibili per la luce che i primi gettano su di essi. Queste differenze condussero Bacone a distinguere ciò che chiama le *prerogativae instantiarum*, ovvero il valore comparativo dei fatti come mezzi di scoperta delle cause. Egli non enumera meno di ventisette punti di distinzione, entrando lungamente nelle peculiarità di ciascuno. Daremo un'idea della loro natura indicandone alcuni pochi dei più notevoli.

Le *instantiae solitariae* sono esempi o della stessa qualità esistente in due corpi che non hanno altra cosa in comune, o di una qualità in cui due corpi differiscono, mentre in tutte le altre sono simili. In ambi i casi le ipotesi, quanto alla forma o causa, sono limitate; nel primo non possono involvere alcuna delle cose in cui i corpi differiscono; nel secondo, nessuna di quelle in cui concordano.

Bacone esemplifica il primo di questi casi in un modo alquanto singolare. Della causa o forma del *colore*, dic'egli, occorrono *instantiae solitariae* nei cristalli, nei prismi di vetro e nelle gocciole della rugiada, che talvolta presentano colori, e tuttavia non hanno nulla di comune con le pietre, i fiori e i metalli che posseggono colori permanentemente, tranne il colore medesimo. Quindi conchiude che il colore non è altro se non una modificazione dei raggi della luce, prodotta nel primo caso dai diversi gradi d'incidenza; e nel secondo, dalla tessitura o costituzione della superficie dei corpi; notevole anticipazione di ciò che Newton doveva presto stabilire per via di sperimenti.

Le *instantiae radii* sono casi misurati da linee e da angoli: le *instantiae curriculi* quelli misurati dal tempo.

Sotto la prima specie Bacone fa alcune osservazioni che sono singolari per l'ampiezza delle idee che rivelano, anche nell'infanzia della scienza fisica. Egli fa menzione delle forze con cui i corpi agiscono l'uno sull'altro da lontano, e dà qualche cenno dell'attrazione che i corpi celesti esercitano a vicenda. « Egli è da ricercarsi, dic'egli, se vi sia una forza magnetica che agisca mutuamente fra il globo e i corpi gravi, o fra la luna e il mare, o fra il cielo delle stelle e i

pianeti, per cui sono chiamati ed innalzati al loro apogeo. Questi sono tutti casi di azione lontana ». (1)

Sotto la seconda specie, dopo di aver osservato che ogni cambiamento ed ogni moto richiede un tempo, egli introduce la seguente notevole anticipazione di susseguenti scoperte.

« La considerazione di queste cose produsse in me un dubbio affatto sorprendente; vale a dire se la faccia del cielo sereno e stellato sia veduta al momento in cui realmente esiste, o non si vegga se non qualche tempo dopo: e se non vi sia, per riguardo ai corpi celesti, un tempo vero e un tempo apparente, come v'ha un luogo vero ed un luogo apparente, al dire degli astronomi, per cagione della parallasse. Poichè sembra incredibile che i raggi dei corpi celesti possano passare per l'immenso intervallo che è tra essi e noi in un istante, e non richieggano almeno qualche porzione considerevole di tempo » (2). Il misuramento della velocità della luce che si è poscia eseguito, e la serie di belle conseguenze che se ne deducono, sono i migliori comenti su questo passo e il più alto elogio del suo autore.

Le *instantiae ostensivae*, che chiama pure *elucescentes* e *predominantes*, sono casi in cui qualche qualità particolare si mostra nel suo più alto grado di potere e di energia. In questi casi una tale qualità è sciolta dagli impedimenti che ordinariamente l'inceppano o la contrariano, ovvero predomina sulle altre dalle quali è comunemente avvolta o travisata. Bacone porta per esempio il termometro (di recente scoperto)

(1) Novum organon, ii aph. 45.
(2) Ibid., ii aph. 46.

o *vitrum calendare* come si chiamava, siccome quello che presentava in un grado visibile il potere espansivo del calore. Noi potremmo forse addurre un esempio più perfetto nello sperimento del Torricelli, per cui la pressione attuale dell' atmosfera è renduta manifesta, sebbene sia comunemente celata per via del suo premere in tutte le direzioni.

Le *instantiae clandestinae* chiamate pure *instantiae crepusculi* sono il rovescio delle precedenti. Esse presentano qualche potere nel più debole stato della sua esistenza, qual è l'attrazione capillare al suo estremo limite quando il recipiente cessa di essere capillare.

Quelle che l'autore chiama *instantiae manipulares* e che noi chiamiamo casi collettivi o fatti generali, sono forse le più importanti di ogni altra; essendo spesse volte quelle che costituiscono l'ultimo grado cui si possa portare la nostra generalizzazione. Abbiamo di ciò un esempio in uno dei passi più importanti che si siano mai fatti in qualunque parte delle cognizioni umane, — le leggi di Keplero. Da un paragone di un certo numero di osservazioni si raccoglie la forma e la grandezza dell'orbita di un pianeta; e nello stesso modo il suo tempo periodico in quell' orbita. Questo è un fatto collettivo per ciascheduno pianeta. Paragonando gli stessi risultati per tutti i pianeti, abbiamo un fatto collettivo più generale, e la legge di Keplero, che connette i loro tempi periodici e le loro distanze medie, viene ad essere un fatto collettivo di un ordine ancora superiore.

I casi paralleli o *analoghi* sono particolarmente notati da Bacone come di un uso grandissimo nel guidarci all'investigazione della verità. E le *instantiae monodicae* o fatti singolari sono importanti a notarsi,

perchè differiscono in qualche particolare ragguardevole dalla classe cui appartengono; come il sole fra le stelle, Saturno fra i pianeti, le pietre meteoriche ecc. Le *instantiae comitatus* sono casi nei quali una proprietà è invariabilmente accompagnata da un'altra, come la fiamma e il calore, il calore e la dilatazione, la solidità e il peso.

Ma le più essenziali forse, come vegnenti in soccorso di tutte le altre, sono quelle che Bacone chiama *instantiae crucis*. Quando due o più cause si presentano, ciascuna delle quali può, per quanto appaia, dar egualmente ragione del fenomeno, se si trova qualche nuova circostanza nel caso la quale possa essere spiegata dall'una e non dall'altra causa, questa determina a un tratto la questione e fa l'uffizio di una *croce* in un bivio; donde il nome è derivato. Questo caso è forse il più familiare di tutta la sua enumerazione di regole filosofiche, e ne riconosciamo l'uso in quasi tutte le grandi scoperte della scienza. Non ci fermeremo maggiormente ad enumerare queste classi, alle quali la vasta mente di Bacone cercò di riferire ogni caso che potesse occorrere nell'analisi filosofica di fenomeni. Ciò che abbiamo detto sarà ampiamente bastevole a dare un'idea della natura generale di una tale classificazione; e senza scorrerla tutta è impossibile di apprezzarla come sistema (1).

Il *Novum organon* è opera da essere studiata in tutte le sue parti da chiunque voglia giudicare con cognizione di causa del suo merito reale. Nell'imperfet-

(1) Un' altra ragione fa che non entriamo più distesamente nelle applicazioni sistematiche del metodo induttivo. Questo già fece nella più compiuta maniera sir J. Herschel nel suo « Discorso preliminare sullo studio della filosofia naturale ».

tissimo abbozzo cui i nostri limiti per necessità ci ristringono, noi speriamo tuttavia di aver detto abbastanza per dirigere l'attenzione del lettore studioso alla sorgente: aggiungeremo alcune osservazioni generali.

Nello scorrere questa lunga lista e classificazione di argomenti una questione naturalmente si presenta, ed è la seguente: — Tutto questo complicato sistema sarà egli necessario per una retta intelligenza dei principii da cui le ricerche sperimentali debbono essere guidate? Il processo induttivo non è esso realmente e praticamente una cosa semplicissima, facile a intendersi senza tutto questo apparato metafisico? A questo risponderemo, praticamente parlando, non potervi esser dubbio, che trattandosi di tener dietro ad un limitato oggetto di sperimento, più d'un utile operaio nella causa della scienza è felicemente giunto al suo risultato, e molti altri possono fare lo stesso, guidati soltanto dal loro buon senso intuitivo, e senza menomamente riferirsi a regole o principii simili a quelli che abbiamo enumerati; e nello stesso modo molti investigatori di altri soggetti ragionano accuratamente, ed anche profondamente, i quali forse ignorano affatto i sistemi della logica e della metafisica. Molti scrivono correttamente, con nerbo e con eloquenza, che non hanno mai studiato alcun sistema di rettorica; ma questo non toglie nulla all'eccellenza astratta e filosofica di ciascuno di questi sistemi. Essi presentano un quadro della teoria di quei principii nei quali i veri risultamenti possono essere analizzati, e dai quali potrebbero sinteticamente rintracciarsi. Il pregio di tali sistemi è di un genere più alto e più filosofico, e sebbene possa esser vero che molti giunsero alle loro conclusioni senza un simile aiuto, tuttavia da ciò non conseguita che tutti

possano farne senza, nè che quelle stesse persone non avrebbero ottenuto più compiutamente è più facilmente il loro fine se avessero avuto qualche principio fisso onde procedere.

Inoltre si debbe riflettere che tutta l'enumerazione sistematica di Bacone viene puramente da teoria e fu fatta per anticipazione. Egli doveva considerare ed esaminare ogni possibil via alla verità filosofica, scrutare ogni mezzo imaginabile per cui l'investigazione potrebbe esser condotta; e poteva accadere che alcuni di questi fossero poscia trovati essere in pratica di molto maggior importanza, e di un uso molto più frequente degli altri; che, in fatto, la scienza induttiva procedesse principalmente per mezzo di alcuni pochi fra i principii qui sviluppati, mentre l'occorrenza di altri sarebbe appena riconosciuta.

Ne abbiamo un esempio notevole nelle *instantiae radii*. Non sembra che Bacone dia maggior importanza a questa classe di fatti che a qualunque altra; e tuttavia nelle ricerche moderne è avvenuto che quasi ogni soggetto d'investigazione che abbia relazione con le scienze esatte, è stato sottoposto a *misuramento* ed alla prova di concordanza *numerica* con le leggi matematiche. Abbiamo già osservato alcuna cosa di questa natura intorno alle *instantiae crucis*, questa essendo nella vera pratica la specie di sperimento cui più frequentemente si ricorra, e dalla quale si ricavi il maggior convincimento. Per altra parte non di rado accade, e più specialmente quando un ramo di scienza è stato lungamente coltivato, e le ricerche sono limitate ad uno spazio ristretto, che una buona porzione del lavoro è già stata fatta da altri, e che la fatica di ricorrere a molte e diverse combinazioni per essere guidati nei nostri sperimenti diviene superflua.

Queste ed altre considerazioni dello stesso genere possono tendere a mostrare il vero valore e l'efficacia di un sistema qual è quello sviluppato da Bacone, ed a convincere chicchessia che sebbene lo studio di esso non sia di assoluta necessità ad ognuno che faccia sperimenti, tuttavia sarà in ogni caso accompagnato da vantaggi inestimabili; e non dubitiamo che se fosse più generalmente e con più attenzione ponderato, vedremmo le memorie della scienza assai meno frequentemente deturpate da argomenti contrari alla filosofia, e le fatiche di sperimentatori ingegnosi gettate al vento nel coltivare teorie mal concepite.

Egli è indubitatamente vero che troviamo i principii della filosofia induttiva, non solamente seguiti, ma distintamente professati da scrittori anteriori a Bacone. Ne abbiamo già veduto l'esempio nelle produzioni di Keplero e di Galileo: e Ticone Brahe, in una lettera a Keplero, gli dà questo consiglio: — « Di dar prima di tutto una base solida alle sue idee per mezzo di un'osservazione diretta; e quindi ascendendo da queste, procurare di giungere alla causa delle cose ». Gilbert nel suo trattato « *De Magnete* » ha esplicitamente manifestato i principii induttivi da cui fu guidato ne' suoi sperimenti. In alcuni luoghi degli scritti di Leonardo da Vinci troviamo espressioni egualmente chiare tendenti al medesimo oggetto.

« Nel trattare qualunque soggetto particolare, dic'egli, vorrei prima di tutto fare qualche sperimento, perchè mio disegno è di riferirmi prima allo sperimento e poscia di dimostrare perchè i corpi sono costretti ad agire in tal maniera. Questo è il metodo che dovremmo seguire nell'investigare i fenomeni della natura. È vero che la natura comincia dal ragionare e termina collo

sperimento; ma non importa; noi dobbiamo seguire il metodo opposto, e siccome ho detto, dobbiamo cominciare dallo sperimento e tentare per suo mezzo di scoprire i principii generali».

E di nuovo, — «La teoria è il generale: gli sperimenti sono i soldati. L' interprete delle opere della natura è lo sperimento, e non erra mai. Il nostro giudizio bensì s' inganna qualche volta, perchè aspettiamo risultamenti che lo sperimento ricusa di dare. Dobbiamo consultare lo sperimento e variare le circostanze finchè non abbiamo dedotto regole generali, poichè da lui solo si possono ricavare. Ma voi domanderete, quale sia l'uso di queste regole generali? Rispondo che ci dirigono nelle nostre investigazioni della natura e nelle operazioni dell' arte. Esse c' impediscono d' ingannare noi stessi ed altri col prometterci risultamenti che non potremo mai ottenere» (1).

Siamo stati indotti a parlare di queste cose più particolarmente, perchè alcuni scrittori moderni di gran merito si sono mostrati propensi a non apprezzare gran fatto il carattere degli scritti di Bacone ed a negare la loro vasta e benefica influenza sulle ricerche dei filosofi seguenti. È stato allegato che Galileo, Copernico e Keplero medesimo, avevano dato esempi perfetti del metodo induttivo di filosofare, e che Leonardo da Vinci nei passi sovra citati, come pure Galileo ed altri autori di quel tempo, hanno effettivamente con simili espressioni dato un breve ma compiuto sommario di tutte le cose essenziali al metodo induttivo. Gli stessi alchimisti di quell' età, per assurdi e visionari che fossero gli oggetti delle loro ricerche, hanno almeno, secondo il

(1) Venturi. *Essai sur les ouvrages de L. Vinci* — p. ad 2. 3.

dire di costoro, mostrato nei loro lavori instancabili che stimavano tutto il pregio della loro scienza consistere negli sperimenti. Keplero nelle stranezze dei suoi sogni, li sottometteva scrupolosamente alla prova dell'accordo con l'osservazione, e sagrificava senza titubare le fatiche di vari anni se il risultamento non vi reggeva. Così si dice che quei filosofi avevano tutti scosso il giogo delle scuole, e non solamente intendevano pienamente il pregio della filosofia induttiva, ma deliberatamente agivano secondo i suoi dettami. Però non si può dire che Bacone abbia inventato o costrutto il metodo cui la scienza moderna debbe la sua esistenza; e i filosofi posteriori non hanno mostrato nei loro metodi di aver seguito le regole di Bacone più da vicino che i loro predecessori. *Newton*, *Boyle*, *Huygens* e i loro seguaci non hanno mai fatto allusione alle *prerogativae instantiarum* siccome loro guida, nè hanno indicato a qual classe i loro argomenti dovessero essere riferiti.

Le osservazioni già da noi fatte rispondono quasi pienamente a queste critiche. Tuttavia risponderemo più compiutamente adducendo un caso simile. Noi avevamo molti scrittori eloquenti nella nostra lingua prima che se ne componesse una gramatica; e dopo questa ci gloriamo di molti altri che non hanno scritto in linguaggio migliore, nè hanno ad ogni frase citata la regola gramaticale in virtù di cui quella tal frase fu costrutta. Si vorrà per questo sostenere che la gramatica è inutile, e che colui il quale fu il primo a comporne una, non merita alcuna lode?

Il *Novum organon* è la *gramatica* della filosofia induttiva. Il suo merito principale non consiste nel dar regole pratiche senza la conoscenza tecnica delle quali

nessuno sia in istato di far ricerche filosofiche, nè nell'insegnare agli uomini il pregio o l'utilità di un libero ricorso allo sperimento; ma la sua eccellenza consiste nel ridurre in forma di sistema filosofico quei principii i quali, sebbene già riconosciuti in pratica, non erano stati veduti nella loro mutua connessione e dipendenza; e nel mettere in un ordine scientifico quelle verità sparse che erano già approvate dalla pratica dei più cauti e giudiziosi investigatori della natura.

Se adunque un filosofo di un'età posteriore lavorando alle sue scoperte su principii induttivi non facesse menzione speciale di Bacone, ed esponesse i suoi sperimenti e descrivesse i suoi risultati senza dire esplicitamente se appartengano alla classe delle *instantiae curriculi* o degli sperimenti *crucis*; se confutasse errori senza classificarli formalmente come *idola specus* o *idola fori*, sarebbe questo un argomento che quelle distinzioni sistematiche gli erano sconosciute, o che il loro ordinamento filosofico, secondo le loro differenze caratteristiche, è una vana, inutile o chimerica specolazione?

Noi crediamo che, tutto ben ponderato, non sia mestieri di dir altro per istabilire l'alto grado in cui Bacone ha dritto di esser posto fra i filosofi non solamente della sua età, ma eziandio di qualunque altra. Egli non era certamente ricco di cognizioni matematiche, e non spinse egli stesso i suoi principii sino alla scoperta di alcuna legge fisica. Forse non si vide risplendere con tanto lustro fra i suoi contemporanei come presso la posterità. Noi passeggiamo sulla superficie della terra senz'avvederci della luce ch'essa riflette, ma ai lontani abitatori della luna essa è uno splendido luminare. Il valore immediato delle scoperte di Galileo

fu più sorprendente; Bacone scrisse pei secoli avvenire, e osiamo affermare con sicurezza che quantunque si potrebbero citare parecchi filosofi che, posti nelle medesime circostanze di Galileo, avrebbero potuto fare le medesime scoperte, lo stesso non si può dire di Bacone; potremmo trovare sostituti all'uno ma non all'altro. Galileo fu il ministro immediato della scienza i cui servigi illuminarono i suoi tempi; Bacone ne fu il profeta la cui riputazione non fu stabilita finchè le sue predizioni non furono verificate. Galileo entrò e prese possesso delle vaste regioni che la scienza doveva d'allora in poi chiamare sue proprie; Bacone dall'alta sua posizione spaziò con lo sguardo su tutto il ricco territorio della terra promessa, ma spirò, come Mosè sul Monte Nebo, senza entrarvi egli stesso. In una parola dobbiamo essere perfettamente d'accordo con D'Alembert, che — «Quando uno considera le vaste e profonde idee di questo grand'uomo, la moltitudine di oggetti cui rivolse la mente, e l'arditezza del suo stile, che accoppia le più sublimi imagini con la più rigorosa precisione, si è disposto a riguardarlo come il più grande, il più universale e il più eloquente dei filosofi (1) ».

Geometria analitica — Cartesio

Le successive scoperte di cui abbiamo parlato, durante la seconda metà del decimosesto e il principio del decimosettimo secolo, hanno portato l'analisi algebraica ad uno stato di notevolissima perfezione. La

(1) *Disc. préliminaire de l'Encyclop.*

strada fu così preparata alle belle scoperte relative all'applicazione di quest'analisi alla geometria, che costituiscono il carattere peculiare della « moderna geometria » e le danno quell'esteso potere e quella capacità cui l'antico sistema non poteva giungere. Queste applicazioni erano state fatte in alcuni pochi casi (come abbiamo detto) da Viète e da altri. Ma il gran passo di cui intendiamo parlare, fu quello fatto da Des-Cartes o Cartesio, il quale forma una delle epoche più importanti nella storia della scienza matematica.

Questo filosofo, celebre in tante parti della scienza, nacque a La Haye nella Touraine l'anno 1596, e da giovinetto fece gran progressi in vari rami tanto della letteratura quanto della scienza. Dopo di aver terminato il solito corso di studi nel collegio de' Gesuiti a La Flèche, abbracciò lo stato militare, e tosto dopo visitò varie parti d'Europa. La pieghevolezza del suo ingegno si mostrò nella moltiplicità degli studi cui attese in quasi ogni parte di scienza metafisica e matematica. Morì nel 1650.—Si fu nel 1637, in Olanda, che pubblicò per la prima volta la sua geometria in cui si contengono le grandi invenzioni sopraccennate. Quest'opera è un picciolo volume di 106 pagine in quarto; ma non v'è forse produzione della stessa dimensione che abbia conferita tanta e così giusta celebrità al suo autore.

Nel primo libro tratta di quei problemi geometrici che si possono risolvere coll'aiuto di circoli e di linee rette, mostrando l'applicazione dell'algebra a tali questioni. Procede poscia all'oggetto più immediato delle sue ricerche, in cui i poteri della moderna analisi sono in una maniera così cospicua spiegati. Procureremo di darne brevemente un'idea.

In una sezione precedente abbiamo fatto menzione del problema chiamato «*locus ad quatuor rectos*» proposto ed in parte discusso da Apollonio e da Pappo. Cartesio rivolse a principio la sua attenzione a questo problema e presto ne trovò una compiuta soluzione algebraica. La natura del problema può in un modo generale essere espressa come segue: — Si dà la posizione di quattro rette, e si richiede di determinare un punto tale, che se da esso si abbasseranno perpendicolari sulle quattro linee, una certa combinazione complessa dei rettangoli o prodotti delle perpendicolari sarà di una grandezza costante. Le date linee possono essere più di quattro, e le altre linee possono essere inclinate ad angoli dati di qualunque natura. Egli è impossibile il dare un' idea più esatta del caso senza entrare in particolari algebraici; basti il dire che Cartesio agevolmente dimostrò che il problema è indeterminato, che un infinito numero di punti riempiono la condizione, e che questi essendo segnati e connessi insieme formano un luogo, che trovò esser sempre una delle curve delle sezioni coniche quando le combinazioni prescritte delle quantità sono prodotti di due soli fattori, o, nel linguaggio dell'algebra, si elevano solamente a *due dimensioni*. Quando queste sono di dimensioni maggiori, ne risultano curve corrispondenti di diverse specie: quando sono di *una* sola dimensione il luogo è una linea retta. Il problema, come era proposto originariamente, è avvolto in assai maggiore complessità che non sia affatto necessaria per l'oggetto di questa teoria. Ed uno dei principali miglioramenti consistò nel prendere, come linee fondamentali cui tutta la costruzione si riferisce, *due* sole linee inclinate a qualunque dato angolo. Queste sono chiamate gli *assi*; e su questi o su linee ad

R

essi rispettivamente paralleli si portano i valori corrispondenti dalle variabili che sono contenute nell' equazione indeterminata, allorquando vien risoluta rispetto ad una di esse; ogni coppia di questi valori determina un punto sulla curva, e per conseguenza si viene a delineare successivamente tutto il luogo a mano a mano che si prendono successivi valori corrispondenti.

Così in generale, qualunque equazione indeterminata con coefficienti costanti, quando si risolve per l' una delle variabili, darebbe sempre un luogo peculiare, sotto certe condizioni invariabili tanto per l'estensione quanto per la posizione, determinate dalle quantità costanti. Un'eccellente illustrazione di quest'idea si presenta nella considerazione di una carta geografica, in cui le latitudini e le longitudini, sempre misurate da una data origine, essendo assegnate per punti successivi lungo la sponda del mare o d'un fiume, per esempio, possiamo descrivere sulla carta la forma e il profilo di quella spiaggia o il corso di quel fiume. E se la latitudine e la longitudine di ciascun punto avessero qualche relazione fissa e invariabile che insieme le connettesse, e se questa relazione, benchè i valori attuali potessero cambiare, rimanesse la stessa per tutti i punti nel corso della linea descritta, l'annunzio di una tale relazione costituirebbe l'*equazione* del *luogo*. Abbiamo altrove osservato che è oggetto del geometra di formare con la sua definizione qualche costruzione di una figura geometrica, e poi, dalle condizioni di una tal costruzione, di stabilire le sue varie proprietà con una deduzione dimostrativa. Le linee curve regolari di cui la geometria prende conoscenza sono quelle che risultano da un tal modo particolare di

costruzione, di cui abbiamo già dato esempi. Da queste costruzioni sono dedotte le loro proprietà. Gli antichi geometri investigarono molte di queste curve, ma esse furono tutte definite su costruzioni perfettamente indipendenti e non avevano principio alcuno di relazione comune. Quindi la scoperta di ciascheduna curva particolare, e l' investigazione delle sue proprietà, costarono al geometra un distinto sforzo d' invenzione, e richiesero un separato impiego di energia intellettuale, ed anche quando le sue fatiche ebbero un esito felice, egli ne andò debitore così spesso al caso come alla propria sagacità.

Ora col metodo di Cartesio la cosa fu generalizzata: — « Vedendo l'importanza ed il potere del principio che impiegò nella soluzione (del problema del *locus*), concepì immediatamente l'idea di fondarvi sopra tutta la geometria delle curve. Con questa felice applicazione di equazioni di due quantità incognite si è fatta una compiuta rivoluzione nella scienza della geometria. Ogni curva descritta secondo una data legge, essendo espressa per mezzo d' un' equazione fra due variabili ogni qual volta può esser dedotta da quella legge, fu così portata nel dominio dell'algebra. Questa equazione inchiudendo l' essenza della curva, le sue varie proprietà ne venivano in conseguenza . . . . L' immediato effetto di questa memorabile scoperta fu, che la geometria superò a un tratto gli stretti limiti che per secoli l'avevano circoscritta, e si slanciò in uno spazio che è letteralmente infinito. Invece di poche curve semplici e particolari che sin allora erano state i soli oggetti della scienza, il geometra discusse la proprietà di classi intere di curve, distinte ed ordinate secondo i gradi delle equazioni che le rappresentano.

La varietà delle curve così divenne infinita come quella delle equazioni » (1).

La costruzione di una curva corrispondente ad una data equazione è quindi facile a concepirsi. La sua forma generale sarebbe di necessità a questo modo tracciata. Ma non apparisce immediatamente come le sue varie proprietà possano dedursi dalla sua equazione. Le investigazioni di Cartesio tuttavia si estesero anche sino a un certo punto a questa parte del soggetto. Si può dire che le proprietà delle curve dipendono in gran parte dalle posizioni di quelle linee rette che sono *tangenti* ad esse in qualunque punto. La determinazione di queste posizioni, ovvero la soluzione del problema « tirare una tangente ad una curva » forma la base di tutte queste specolazioni. In alcuni casi particolari e individuali questo è stato fatto dagli antichi geometri.

Ma gli antichi geometri avevano trovato che certe difficoltà accompagnavano il problema. Anche il suo caso più semplice, — tirare una tangente a un circolo, — discusso da Euclide, obbligò quell'eccellente geometra ad impiegare tutta la sua precauzione e la sua maestria; in fatto, nella transizione da una curva ad una linea retta, che ha un solo punto comune con essa, e che tuttavia ne giace intieramente fuori, pare quasi inevitabile che si debba aver ricorso ad un metodo sino a un certo punto indiretto. Sembra che vi sia una combinazione di due idee, che strettamente parlando, non hanno alcun punto comune di paragone. Forse il principio di un *limite* si trova realmente al fondo di tutte le investigazioni di questo soggetto. E

(1) Lardner, Geom. analit. Pref. xxii.

certamente così è, se passiamo a riguardarlo, sotto un punto di vista esteso. In questo modo Cartesio procedette a considerarlo, e fondò il suo metodo generale di tangenti sul principio, che se c'imaginiamo una *secante* o linea retta che tagli una curva in due punti, muoversi parallelamente a se medesima, essa verrà in posizioni in cui i due punti di sezione successivamente si avvicinano sempre più l'uno all'altro, e finalmente si confondono in uno: questa posizione è il *limite*, e la secante allora diviene *tangente*. Nel seguire quest'idea, in modo da fondarvi sopra un metodo analitico di determinare la posizione della linea retta, talchè abbia questo punto comune con la curva, ovvero che un valore dell'ordinata sia lo stesso nelle equazioni tanto della curva quanto della linea retta, v'era una considerevole complessità; e quantunque Cartesio certamente compiesse il suo sistema in questo particolare, tuttavia il suo metodo di tangenti è pieno di tedio e di fatica in paragone di altri che furono poscia scoperti. L'esposizione di questo metodo e la discussione di certe curve particolari, chiamate *ovali* di Cartesio, notevoli per le loro applicazioni ottiche, occupano il suo secondo libro. Il terzo tratta della costruzione di equazioni per mezzo di linee curve e contiene un metodo di risolvere certe equazioni di quarto grado.

La grande eccellenza pertanto di questi metodi è la loro assoluta generalità. « L'equazione ad una curva è, per così dire, una breve formola, in cui sono rinchiuse tutte le sue proprietà, e da cui l'analista può sempre dedurle con regole fisse e generali, che non sono peculiari all' equazione di alcuna curva particolare, ma indifferentemente applicabili a quelle di tutte le curve ». Le investigazioni degli antichi erano sola-

mente applicate a casi individuali ed isolati. « Il loro metodo di tirare una tangente ad una curva non metteva sulla via di risolvere lo stesso problema con un'altra curva; epperò il geometra era circondato dalle stesse difficoltà ad ogni nuova curva che intraprendeva d'investigare. L' applicazione dell' algebra rimosse a un tratto questi difetti, determinando regole uniformi e generali per l'investigazione delle proprietà di una curva qualunque. Anzi, non assistè solamente l' operazione della facoltà ragionatrice, ma tenne luogo d'invenzione, somministrando i mezzi di scoprir curve di una varietà infinita. Non si può proporre alcun' equazione fra due quantità incognite, senza che si venga immediatamente a scoprire una curva corrispondente, la cui natura e le cui proprietà danno materia di specolazione geometrica ». (1).

Tuttavia il principio non era limitato al caso di una curva descritta su di un solo piano. Necessariamente le due coordinate ne danno solamente la figura in un piano, o si riferiscono alle due dimensioni della lunghezza e della larghezza. Ma il geometra contempla inoltre la terza dimensione della *profondità* donde nasce l' idea delle figure solide. Quindi per una facile estensione dell'idea originale di Cartesio, equazioni involventi *tre* variabili espressero nella stessa maniera un *luogo* che non si trova in un sol piano, ma ogni punto successivo del quale ebbe una posizione diversa dall' ultimo tanto in lunghezza quanto in larghezza e profondità, o in altre parole una *superficie curva*. Così la geometria piana e la solida furono entrambe ridotte sotto il dominio dei medesimi principii analitici.

(1) Lardner, Geom. analit. Pref. xxiii.

Lo stesso principio è inoltre capace di altre modificazioni. Possono impiegarsi equazioni per esprimere curve che non giacciono in un solo piano, ma hanno una forma contorta, per esempio come quella di un rampinetto. Qui si hanno tre coordinate, e sono connesse da due equazioni, ciascuna delle quali involve due fra le variabili.

Sin qui abbiamo supposto che le equazioni impiegate siano di quelle che per distinzione sono chiamate *algebraiche*, cioè involventi soltanto come variabili quantità semplici, finite, algebraiche. Ma altre classi di equazioni che non cadono sotto queste limitazioni possono tuttavia avere una simile applicazione geometrica. Per esempio, se le variabili dipendono l'una dall' altra in qualche relazione assegnata dalla trigonometria o dai logaritmi, potranno pure avere *luoghi* corrispondenti, purchè queste relazioni possano essere attualmente mostrate. Queste sono chiamate curve trascendentali. Casi semplici di queste si trovano fra le così dette curve trigonometriche inventate da E. Wright circa l'anno 1600. La curva dei seni viene costrutta prendendo distanze eguali o *ascisse* lungo un asse in corrispondenza agli *archi*, mentre le *ordinate* sono i *seni* di quegli archi. Le loro sommità segnano il *luogo* altrimenti detto *sinusoide*. Nello stesso modo abbiamo la curva delle tangenti, dei coseni, ecc. ecc. E la *curva logaritmica* si comprenderà agevolmente dal suo nome essere costrutta su di un principio analogo. Essa fu inventata da James Gregory.

La maggior parte di queste e di altre curve furono soggetto di considerevole discussione al tempo della loro invenzione, cosa che adesso ha perduto una gran parte del suo interesse. Tuttavia ciò fu di un grand'aiuto nei

progressi della scoperta, per aver somministrato i criterii per cui si misero alla prova i principii più generali dell'analisi che cominciavano allora a scoprirsi.

Calcolo Infinitesimale

Abbiamo altrove parlato dei progressi fatti da Keplero in quella parte della scienza della quantità che dipende dall'ampliazione dell'antico metodo dei limiti. Galileo in un curiosissimo passo nei « Dialoghi sul moto » introduce una discussione in cui simili principii sono involti; ed alcune sue espressioni sono state interpretate come una specie d'anticipazione dell'idea di prime ed ultime ragioni e flussioni; ma egli non proseguì questo concetto.

Cavalieri, nato a Milano nel 1598, era amico e discepolo di Galileo, ma molto più profondo in matematica. Nelle sue mani il soggetto prese una forma più regolare e sistematica; e in un'opera sugli « Indivisibili » pubblicata nel 1635, sviluppò un metodo per cui problemi che involvono esaustioni potrebbero essere risoluti con maggior prestezza e facilità.

Il principio col quale cercò di evitare gl'imbarazzi dei metodi antichi, fu quello di adottare la fraseologia di aree composte di un infinito numero di linee parallele; solidi di un infinito numero di piani, e linee anch'esse di un infinito numero di punti. Così quando queste serie di piani o di linee rispettivamente erano disposte secondo una legge determinata, e tale che le loro somme potessero essere stabilite, allora il volume dei solidi e delle aree delle curve era trovato. La *fraseologia* era manifestamente in opposizione assoluta

alle prime definizioni della geometria; ma, come abbiamo altra volta osservato in un caso simile, la questione dovrebbe ridursi a questo, — se vi sia qualche errore o contraddizione nelle *cose significate*. In fatto questo era un modo di parlare indubitatamente inesatto, ma introdotto come modo conveniente di evitare circonlocuzioni e prolissità. Le linee e i piani sono i *limiti* dei parallelogrammi e dei parallelopipedi, i quali quando sono di grandezza finita, venendo posti insieme in una serie decrescente formano figure il cui profilo è tagliato per così dire a *gradini*. I *limiti* di queste figure sono quelle i cui confini sono linee continue rette o curve, secondo le circostanze. Cavalieri seguì il suo raziocinio in una maniera compendiosa, scegliendo questo modo inesatto di parlare: ma in sostanza non si trattava d'altro che di limiti, e la cosa si poteva in tutto ridurre al metodo delle esaustioni e con esso verificarsi. Per verità non vi ha dubbio ch'egli ebbe un'esatta e soddisfacente idea del soggetto, poichè nel principio del suo settimo libro dice espressamente (prevedendo le obbiezioni che si sarebbero potute fare all'apparente imperfezione del suo raziocinio) — « Non vi è necessità di supporre le quantità continue come composte di queste parti indivisibili, ma solamente che osserveranno le medesime proporzioni di quelle parti ». Tuttavia il metodo degl'indivisibili lo espose ad essere assalito da molti lati; ma il principio essenziale fu ingegnosamente spiegato e difeso da Pascal.

Cavalieri proseguì il suo metodo in molte pregevoli soluzioni e molti risultamenti, specialmente per ciò che riguarda le aree dei triangoli sferici, e dedusse alcuni teoremi importanti, sebbene tanto era l'impulso che

si cominciava a dare alle scienze matematiche, che molti geometri in altre contrade seguivano la medesima strada. Questi in vari casi pretesero di aver fatto le medesime scoperte, alle quali probabilmente erano giunti indipendentemente e nello stesso tempo.

Galileo aveva già prima inventata la cicloide o curva descritta da un punto nella circonferenza di una ruota, mentre gira lungo una linea retta. Nel 1639, egli scriveva al suo amico Torricelli di avervi pensato quarant'anni prima. Egli fece vari sforzi per determinarne l'area, ma non aveva il sapere geometrico che si richiedeva per questa scoperta. I tentativi di Cavalieri furono pure inutili; ma poco dopo se ne diedero soluzioni da Torricelli e da Roberval, matematico francese di grande originalità ed invenzione, e tutti e due se ne attribuirono la scoperta. L'area è tre volte quella del circolo generatore o della ruota. Una controversia nacque sulla questione di priorità, ma è probabilissimo che entrambi ottenessero indipendentemente lo stesso risultato.

Roberval migliorò il metodo di quadratura proposto da Cavalieri, ricerca in cui fu seguito dal dottor Wallis. Fermat applicò metodi analoghi per trovare i massimi e i minimi delle ordinate di una curva, come pure le loro tangenti; ed investigazioni dello stesso genere furono fatte con la sua solita maestria dal dottor Barrow.

Roberval trovò un metodo di tirare tangenti alle curve, fondato su principii geometrici, ma applicabile soltanto a quei casi nei quali la curva è costrutta con l'intersezione di due linee che vanno crescendo in una data ragione reciproca. Il principio essenziale è che in simili casi, gl'incrementi delle due linee venendo a compiersi in un parallelogrammo, la sua diagonale

sarà la tangente. Ma questo non può essere stabilito se non con un'applicazione del principio dei limiti.

Barrow fu autore dell'idea di ciò che è stato chiamato *triangolo differenziale*, ed è forse il meglio adattato all'oggetto di una illustrazione generale. L'idea che si possa prendere una porzione di una curva così picciola da potersi, senza errore, considerare come una linea retta, è tale che la mente di leggieri l'ammette, sebbene sia affatto falsa e contraddicente ai primi principii della geometria. E questo uno di quegli esempi di cui abbiamo già accennato alcuni, ne' quali il linguaggio assolutamente contraddittorio nei termini, può tuttavia essere convenzionalmente impiegato per evitare una circonlocuzione. La vera idea che sta in fondo di queste espressioni si è che una linea retta è il *limite*, cui una porzione di curva continuamente diminuita s'avvicina. Ma seguendo la inesatta e più conveniente fraseologia, il picciolo incremento della curva, e i corrispondenti incrementi dell'ascissa e dell'ordinata, formano un picciolo triangolo. Se dalla relazione delle due ultime, esprimiamo quella dei loro *infinitamente piccioli* incrementi, abbiamo, dietro i principii della trigonometria piana, la posizione dell'ipotenusa, o la direzione della tangente alla curva. Fermat concepì la cosa quasi nello stesso modo.

Giovanni Wallis fu uno dei più gran matematici del tempo di cui parliamo, e fece passi importanti verso la soluzione di quei gran problemi cui l'attenzione dei geometri era allora così potentemente rivolta. Ma un limite sembrava ancora posto al buon successo dei loro sforzi, che era riservato al genio di Newton di oltrepassare.

Dall'università di Cambridge, Wallis passò a Oxford

nel 1649, nominato alla cattedra Saviliana di geometria. In una delle sue lettere che si riferisce a quel periodo, egli ci dà un'idea dello stato delle cognizioni matematiche nella prima di queste università, la quale ha poscia ampiamente riacquistato il suo onore a questo riguardo. « Le matematiche non erano allora da noi riguardate come dottrina accademica .... e di più di dugento giovani del nostro collegio non ne conosco due che sapessero più di matematiche di me che ne sapeva assai poco, non avendone mai fatto uno studio serio (se non come di un piacevole divagamento) sino a un tempo prossimo a quello in cui fui destinato a professarle ».

Ciò essendo, l'ingegno di Wallis ci apparirà più cospicuo, quando consideriamo il rapido progresso da lui fatto negli studi matematici, mentre non era meno eminente pel suo sapere in varie parti di letteratura, di filosofia e di teologia. Oltre a molte opere di controversia, il suo « Commercium epistolicum » contiene la miglior prova dello zelo e dell'abilità con cui entrò nelle importanti e allora difficili investigazioni relative alla rettificazione ed alla quadratura delle curve, e ad altri soggetti con questi connessi. La sua edizione di « Archimedes de Arenario ecc. », mostra il suo acume critico; mentre il suo « Saggio sulle maree » e la sua « Meccanica » presentano quelle ricerche dinamiche nel più alto stato di sviluppo che avessero mai toccato. La « Mathesis universalis », comprende i suoi elaborati trattati sull'algebra e sull'aritmetica degl' infiniti; e i primi volumi delle *Transazioni filosofiche* sono arricchiti di molti suoi scritti. Egli moriva nel 1703.

Wallis ha spiegato in tutta la loro forza le sue facoltà inventive nell' « Aritmetica degl' infiniti ». Qui

si prevale del principio già parzialmente ammesso da Keplero e da altri, d'introdurre la fraseologia di quantità infinita, e di stimare i valori che le espressioni algebraiche assumono in diversi casi, quando supponiamo che un termine in esse involto divenga infinitamente grande o infinitamente piccolo. Nelle sue investigazioni possiamo vedere i germi di quei metodi che, tosto dopo, ricevettero nelle mani di Newton una estensione che li rese atti ad analizzare le leggi più complesse dei fenomeni fisici. Ma i principii che Wallis aveva abbracciati non erano ancora abbastanza sviluppati da essere intesi in tutta la loro estensione, o da manifestare il potere che realmente possedevano. Tuttavia potè trattare il soggetto della quadratura su basi più generali che qualunque de'suoi predecessori. Sin qui i geometri, come abbiamo veduto, erano soltanto riusciti in pochi, limitati e semplicissimi casi, a determinare in termini finiti il valore dell'area degli spazi circoscritti da linee curve.

Cartesio aveva generalizzato il modo di concepire la costruzione di tutte le curve; quindi conseguitava che con certe operazioni algebraiche, quelle applicazioni del metodo dei limiti che erano state divisate da Keplero e Cavalieri per esprimere le aree, potevano estendersi in una maniera egualmente generale, per virtù della relazione esistente fra l'ascissa e l'ordinata, — le due variabili che entrano nell'equazione Cartesiana.

Wallis trovò che, in tutti i casi ne' quali il valore di una di queste poteva essere espresso ne' termini dell'altra, senza involvere esponenti frazionali o negativi, egli poteva determinare il valore dell'area o quadratura della curva in termini finiti.

Questo metodo ricevette una qualche maggiore estensione da Nicolò Kauffman (più comunemente noto sotto il nome latinizzato di Mercator), il quale imaginò un metodo di ridurre alcuna delle espressioni in una continua serie di termini. In questo modo ottenne la quadratura dell'iperbola, nel 1667.

Tuttavia Wallis era ansioso di estendere le sue soluzioni oltre a questa limitata parte del soggetto. Egli vedevasi un vasto campo aperto dinanzi, e in questa nuova regione di ricerche s'avvedeva potersi scoprire molte verità geometriche di gran pregio ed utilità; la quadratura del circolo e di molte altre curve, insieme con una quantità incalcolabile di varie applicazioni di tali risultamenti relativi a molti punti di fisica investigazione, invitavano tutti alle ricerche, promettendo una copiosa messe di scoperte ulteriori, e stimolando i tentativi dell'investigatore con la speranza di una fama immortale.

Occorsegli, che se le equazioni delle curve di cui aveva fatto la quadratura, fossero disposte in una serie regolare dalla più semplice alla più complessa, le loro aree costituirebbero un'altra serie corrispondente, i termini della quale erano tutti noti. Osservò inoltre, che nella prima di queste serie l'equazione del circolo potrebbe essere introdotta, ed occuperebbe il luogo di mezzo fra i primi e i secondi termini della serie, o fra l'equazione di una linea retta e quella della parabola. Conchiuse adunque che se potesse introdurre un termine nel mezzo della seconda serie, fra i suoi primi e secondi termini, questo non sarebbe necessariamente altro che l'area del circolo. Ma quando procedette a voler mandare ad effetto questa sottilissima e filosofica idea, non fu fortunato nel suo tentativo; e

se questo non gli andò intieramente fallito, anzi fece conoscere una curiosa proprietà dell'area del circolo, tuttavia non condusse ad una quadratura indefinita di quella curva.

In queste ricerche Wallis era strettamente associato con Sir C. Wren che nella sua gioventù aveva dato segni di grand' ingegno matematico. Una rettificazione della cicloide e parecchie altre investigazioni matematiche pubblicate dal Wallis nel suo trattato sulla cicloide, sono cose del Wren. Questi si dedicò molto allo studio dell'astronomia e ne divenne professore a Oxford nel 1670, come pure nel collegio Gresham; ed entrò pure ampiamente nelle questioni dinamiche allora agitate fra i filosofi inglesi e Huygens. Ma alla fine le sue magnifiche opere in architettura lo tolsero interamente dalla coltivazione della scienza astratta.

Sistema Cartesiano

Cartesio avendo posto la geometria sotto il dominio di un gran principio, sembra essere stato sedotto ad abbracciare quella splendida ma visionaria idea che il sistema del mondo e la filosofia della meccanica potessero parimente essere stabiliti sopra una teoria dedotta da pochi assiomi in prima supposti. Questi, secondo lui, si trovavano in certe idee metafisiche della divinità e de' suoi attributi; e da essi affettavà di ragionare all' ingiù e di dedurre le leggi della natura; di mostrare perchè le cose sono costituite quali le vediamo, e di spiegare le cause dei fenomeni materiali. In questo modo pretendeva che, per una lunga concatenazione di conseguenze, potrebbe sempre de-

terminare, alla fine, quali dovrebbero essere le leggi e le modificazioni cui gli agenti materiali andrebbero soggetti; e ragionare dalla prima causa alle cause secondarie, e dalle secondarie ai loro effetti visibili. Nello stesso tempo (e pare non senza qualche inconseguenza) non rigettava intieramente lo sperimento e l'induzione; e sembra che tacitamente ammettesse il difetto fondamentale di tutto il suo sistema quando disse, che il numero delle forme diverse che gli effetti possono assumere, è così grande, ch'egli non poteva determinare senza sperimento quale di esse la natura avesse preferite al rimanente. « Noi impieghiamo lo sperimento non come una ragione da cui una cosa sia provata, poichè desideriamo di dedurre effetti dalle loro cause e non, reciprocamente, cause dai loro effetti. Ricorriamo alla sperienza non per altro se non perchè in un numero infinito di effetti, che possono essere prodotti dalla stessa causa, possiamo dirigere la nostra attenzione ad uno più che ad un altro ».

Ciò non pertanto nell'uso che fece dell'induzione, Cartesio sembra aver riconosciuto la verità dei principii di Bacone. Certamente era poco disposto a riconoscere i titoli di alcuno dei filosofi precedenti; ed alcuni scrittori hanno detto che non ebbe maggior rispetto per Bacone che pel rimanente di essi. Ma dal suo carteggio con Mersenne (pubblicato nel 1642) si ricava che in parecchie lettere parla distintamente delle opere di « Verulamio » con un rispetto che non aveva per nessun altro autore, e in un modo che dimostra averle egli studiate, ed approvare il metodo che inculcano. Questo dà sufficientemente ragione di alcune notevoli coincidenze osservate da Dugald Stewart negli scritti di Cartesio con le idee ed anche le stesse

parole di Bacone, quantunque egli abbia asserito che se pur Cartesio lesse le opere di Bacone, non vi ha mai fatto allusione; opinione in cui coincide pur anche il professore Playfair. Certo prima di questo tempo pare che gli scritti di Bacone fossero ben noti sul continente e giustamente stimati. Si ha una sua lettera scritta a Baranzon che insegnava la filosofia naturale a Annecy in Savoia nel 1621 (il quale debbe averlo consultato sull' introduzione del metodo induttivo), che contiene un chiarissimo sommario delle sue opinioni, e mostra l'autorità e l' influenza che i suoi scritti avevano acquistata a quel tempo. I suoi suggerimenti a Baranzon sono quasi identici con alcuni di quelli cui Cartesio si riferisce nelle lettere sovr' accennate.

È tuttavia da confessarsi che si trova assai poco dell' influenza dei principii di Bacone nel sistema cartesiano, quantunque il suo autore riconoscesse la loro verità generale e li prendesse per guida quando condiscendeva di venire ad una investigazione sperimentale. Ma a questo, come abbiamo veduto, egli non ricorreva se non come a mezzo subordinato di aiutare le sue teorie; e rare volte accadeva che credesse necessario di ricorrervi.

Le posizioni preliminari su cui il suo sistema riposava, lo immersero profondamente in ispecolazioni meccaniche. Egli propose come un' idea originale la stima delle forze dal *momento*, che non è altra cosa se non quella già prima proposta da Galileo. Introdusse pure nella teoria del moto l' inerzia della materia; riguardata come un vero potere attivo, e non semplicemente come un' indifferenza passiva al moto o al riposo. Per rispetto al movimento curvilineo indicò distintamente la necessità di supporre una forza *deviante*, la quale

essendo rimossa, il moto sarebbe rettilineo e nella direzione della tangente. Pose per principio generale esservi sempre la stessa quantità di moto nell'universo, la qual cosa pare che dia ragione delle sue idee dell' inerzia ecc. pur ora menzionate. Sembra aver riguardato il movimento come una specie di qualità aggiunta alla materia, ma che in certi casi potrebbe, in certo modo, essere *latente*. Tutto questo procedeva dal principio teorico della permanenza di tali qualità, che deduceva dall' immutabilità dei divini attributi. La fallacia inerente a questo raziocinio debb'essere abbastanza apparente; e non saremo sorpresi di trovare che, sebbene in parecchi casi sia giunto a veri risultamenti, tuttavia in altri, come in tutta la teoria della collisione dei corpi, egli è trascorso in errori manifesti.

Quest'ultimo soggetto, per verità, se ne rimase lungamente senza una investigazione compiuta e sodisfacente. Il dottor Wallis e Sir C. Wren, quasi nel medesimo tempo, diedero alla luce le loro investigazioni nel 1668, e indipendentemente da queste Huygens diede la sua nel 1669. E gli uni e gli altri fondarono il loro raziocinio sul principio allora per la prima volta pienamente sviluppato, che l'azione e la reazione sono eguali e in direzioni opposte.

Nel 1633 Cartesio aveva compiuto il suo « Sistema del mondo », avendo prima messo mano alle dottrine metafisiche sulle quali fondava il suo intiero metodo di raziocinio filosofico.

Per riguardo a questo sistema, si vuol confessare essere stato il primo che tentasse di suggerire un principio fisico qualunque per ispiegare e connettere tutti i movimenti planetari. Poichè appena si possono

annoverare fra le teorie filosofiche le sfere cristalline di Tolomeo o la vitalità assegnata alla terra da Keplero. Cartesio procedette su principii i quali, sebbene involvessero supposizioni gratuite, furono almeno di un carattere più filosofico di quelle. Egli tentò di ragionare *a priori* partendo da null'altro fuor che dalle idee di materia e di moto e dagli attributi della materia, — estensione, impenetrabilità ed inerzia.

Egli imaginava che la materia così costituita riempiesse tutto lo spazio. Tutte le sue parti erano dotate di moto in una varietà infinita di direzioni; dalle combinazioni di questi moti era impossibile che risultasse un movimento rettilineo; un torcimento continuo dal moto rettilineo doveva aver luogo; quindi il moto circolare e la forza centrifuga traevano la loro origine, e così finalmente la materia veniva a distribuirsi in una moltitudine di vortici, in cui le parti più sottili costituiscono il vero vortice nel quale i corpi più densi galleggiano. Quindi l'universo consiste in una moltitudine di vortici che si limitano e circoscrivono a vicenda. La terra e i pianeti sono corpi trasportati in giro nel gran vortice del sistema solare, la sottile materia del quale agisce su di essi con una pressione verso il centro, mentre la forza centrifuga gl'impedisce di cadervi. Ciascun pianeta è parimente il centro di un minor vortice che produce una simile tendenza al suo centro nei corpi che sono posti nella sfera della sua influenza.

Tale è il principio su cui riposa questo edifizio aereo, il quale essendo venuto *dopo* la scoperta delle leggi di Keplero, è di sua natura condannato per non offrire alcuna conformità con quelle, e per non dare la menoma spiegazione di alcuna cosa, fuorchè delle

orbite *circolari* che già si erano dimostrate non esistere.

Tuttavia quest'ipotesi, fondata sul più stravagante raziocinio tratto da premesse puramente imaginarie, ipotesi che non dava alcuna spiegazione dei fatti, fu tosto ricevuta e seriamente difesa nelle università di Europa. Tuttavia non fu accolta senza qualche opposizione in sul principio, e fu pur anche proibita in una o due università del Continente, specialmente dove i Gesuiti esercitavano qualche influenza; ma il tuono metafisico delle specolazioni dell'autore probabilmente le procurò un accoglimento favorevole in altre scuole, perchè veniva almeno a somministrare soggetti interminabili di disputazioni scolastiche.

Nelle università inglesi essa andò allargando il suo impero a mano a mano che si rigettava la fisica di Aristotile, stimandosi necessario di avere *un sistema determinato* da sostituire in sua vece. La « Fisica » di Rohault, concepita intieramente sui principii cartesiani, continuò per molto tempo ad essere in Cambridge il testo stabilito e prediletto delle scuole. Questo ed altri sistemi del medesimo genere furono pure professati a Oxford e nelle università della Scozia. Nè saremo sorpresi della popolarità che il sistema cartesiano acquistò in tutta Europa, se osserveremo che s'indirizzava fortemente all'imaginazione ed assai poco alla ragione del genere umano. Nello spiegare tutti i movimenti dei corpi celesti con un sistema di vortici in un *mezzo* fluido, diffuso in tutto l'universo, Cartesio seguiva un'analogia di molto allettamento. Coloro che avevano veduto corpi gravi portati in volta negli avvolgimenti di un vortice, o nei giri di un recipiente d'acqua cui fosse impresso un moto rotatorio, non

avevano difficoltà a concepire come i pianeti potessero aggirarsi intorno al sole con movimenti analoghi. La mente fu immediatamente paga di una spiegazione di natura così palpabile, la quale non richiedeva pel suo sviluppo nè l'esercizio di paziente meditazione nè l'aiuto di perizia matematica. Soprattutto la catena immediata di connessione per cui l'autore pretendeva di dedurla dagli attributi della divinità, le dava quella sanzione religiosa che, una volta radicata, dà corso a qualunque assurdità per evidente che sia, e fa considerare come empie le verità più razionali e dimostrabili, che siano opposte alle idee da lei favoreggiate.

Questa lode, tuttavia, dobbiamo dare alla teoria cartesiana, ed è che la sua popolarità fu certamente di aiuto materiale a sbandire i più grossolani errori del sistema di Tolomeo; e dal vedere un sistema cedere il luogo ad un altro, le menti degli uomini si aprirono di tanto da cominciare a perdere la loro eccessiva venerazione per l'autorità, e riconoscere che ogni sistema debb' essere schiettamente sottoposto ad esame.

Ottica — Legge di refrazione

Abbiamo altrove ragionato dei tentativi successivamente fatti da Al-Hazen, Vitellione e Keplero per investigare la legge della refrazione. Sembra che il primo a riuscire compiutamente in questo lavoro sia stato Willebrod Snell, matematico olandese, che fiori verso il 1600.

Il suo modo di concepire il problema con una costruzione geometrica è certamente più complesso che

necessario; ma questa costruzione quando è tradotta nel linguaggio più conveniente e più chiaro della trigonometria, non è altro senza dubbio che il semplice annunzio della legge, si lungamente cercata, che connette insieme la deviazione del raggio refratto verso la perpendicolare, e l'angolo d'incidenza, per tutti i valori di quell'angolo. La relazione è quella di una *ragione costante* fra i *seni* degli angoli che i raggi incidenti e refratti formano con la perpendicolare. Questo rimane invariabile per tutte le incidenze finchè i *mezzi* sono gli stessi, ma varia secondo i diversi mezzi. Se supponiamo che il raggio passi dal vuoto nel dato mezzo, la ragione pel mezzo particolare in questo caso è chiamata l'indice di refrazione di quel mezzo.

Tuttavia Snell non annunziò certamente la sua scoperta in questo preciso linguaggio. Cartesio nella sua Diottrica, pubblicata nel 1637, la dà in questa forma di enunciazione, senza fare la menoma menzione di Snell, e la scoperta passò per conseguenza per essere fatta da Cartesio. È stato detto che le opere di Snell contenenti questa scoperta non erano pubblicate quando Cartesio scriveva; altri fissano la loro pubblicazione all'anno 1619 ed anche prima. Ad ogni modo, Snell aveva comunicato le sue ricerche a' suoi amici, ed esse erano state fatte pubbliche dal professore Hortensius suo compaesano, nelle sue pubbliche lezioni. Può darsi anche che Cartesio abbia indipendentemente scoperto la medesima verità. Se non che il suo carattere è conosciuto come pieno d'invidioso desiderio di scemare il merito di coloro che potevano essergli rivali, e questa circostanza getta un dubbio considerevole sul suo dritto alla scoperta originale.

Cartesio in questa come in altre parti delle sue

specolazioni, affettava di ragionare da quei principii astratti che, in fatto, non erano altro che premesse arbitrarie. Egli deduceva la legge della refrazione non da un confronto di osservazioni, ma dall'ipotesi che la luce procede più rapidamente in mezzi più densi.

Il carattere ipotetico di questo raziocinio fu dimostrato e censurato da Fermat, il quale tuttavia tentò anch'egli di dedurre la legge su di un principio che, allo stato della scienza, non era quasi meno ipotetico, sebbene sia stato pienamente confermato da ricerche posteriori. Questo era chiamato il « principio della minima azione »; vale a dire, egli assumeva che la luce debbe sempre muoversi in modo da passare da un dato punto ad un altro nel minor tempo possibile, e che il corso da essa seguito sotto l'influenza della diversa densità dei mezzi sarà determinato giusta questo principio; e contro la teoria di Cartesio, assumendo che la luce sia *ritardata* in proporzione della densità del mezzo, dedusse con questo principio il medesimo risultamento, — una refrazione regolata dalla legge dei seni.

Cartesio attese pure alle forme delle lenti, ed ai mezzi di raccogliere accuratamente raggi incidenti in un punto quasi a fuoco. Nessuna lente sferica fa questo con precisione, quand'anche sia limitata ad un picciolissimo arco di sfera, e se la curvatura è alquanto considerevole, l'aberrazione è grandissima. Cartesio pertanto investigò generalmente la natura della curva che darebbe quest'accurata convergenza; e per mezzo di una compiuta e bella analisi dimostrò che una certa classe di curve del quarto grado riempirà le condizioni; esse in certi casi divengono di secondo grado. Ma le difficoltà meccaniche di lavorare altri vetri

fuori di quelli di una forma sferica, sono così grandi da togliere ogni speranza di migliorare gli stromenti ottici coll'introduzione di altre curve.

La spiegazione dell'arcobaleno innoltrò di un passo mercè le ricerche di Cartesio. Egli spiegò l'arco secondario, ed accuratamente rintracciò il corso dei raggi e gli angoli sotto i quali si produce l'effetto; ma mancava ancora l'estensione dei medesimi principii ai diversi colori. Al suo solito, egli non parla dei diritti degli scrittori precedenti, e non nomina mai De-Dominis.

Discepoli di Galileo
Scienza fisica

Galileo aveva aperta la strada ad un vasto campo di ricerche ed ispirato il desiderio di esplorarlo a molti zelanti ed ingegnosi discepoli, i quali si posero tosto al lavoro con diligenza eguale al successo. Fra questi niuno si distinse maggiormente di Torricelli il quale fiori verso il 1640.

Torricelli fece alcune aggiunte alle scoperte meccaniche di Galileo, nel suo trattato *De motu gravium naturaliter descendentium et proiectorum*. Egli investigò teoremi generali relativi al centro di gravità ed all'equilibrio dei corpi.

Nell'idraulica pare ch'egli abbia pure fatto il primo passo, dimostrando che l'acqua esce da un pertugio nel fianco o nel fondo di un vaso con la medesima velocità che un corpo acquisterebbe cadendo dal livello della superficie a quello dell'orifizio. È inutile l'osservare l'importanza di questo principio a quasi tutta la scienza del moto dei fluidi.

Ma questa non è la maggiore scoperta che dobbiamo a questo illustre amico e discepolo di Galileo. Egli proseguì con felice successo un'altra investigazione, in cui lo stesso suo celebre maestro non era giunto a buon fine. Galileo aveva osservato il fatto che l'acqua non s'innalza in un tubo voto (come per esempio in una tromba) ad un'altezza maggiore di circa trentatrè piedi (1), ma non potè dare una spiegazione del principio. Torricelli lo vide e procedette a verificarlo. La colonna d'acqua era tenuta in equilibrio da una colonna d'aria: nel tubo ogni pressione ne era rimossa; fuori di esso, o nel recipiente, era premuta da tutto il peso della colonna d'aria che dalla superficie dell'acqua si stende sino alla sommità dell'atmosfera. L'altezza cui l'acqua giungeva, o la quantità d'acqua sostenuta, dipendeva da nient'altro fuorchè dal suo peso paragonato col peso dell'aria, quindi la stessa cosa doveva aver luogo per tutti gli altri fluidi. Il mercurio è un fluido quasi tredici volte più denso dell'acqua, una quantità di esso che fosse circa un tredicesimo della quantità d'acqua, sarebbe pertanto in egual maniera sostenuta dalla stessa colonna d'aria, vale a dire, la colonna di mercurio s'innalzerebbe all'altezza di circa trenta pollici.

Torricelli passò dunque a far questa prova. Un tubo chiuso ad una estremità essendo riempiuto di mercurio, e l'altra estremità aperta essendo accuratamente turata col dito, egli la capovolse coll'estremità aperta in una catinella di mercurio. Il mercurio del tubo immediatamente discese e rimase stazionario all'altezza di circa trenta pollici. Epperò era evidente che il prin-

(1) Misura inglese.

cipio era giusto, il peso e la pressione dell'atmosfera furono stabiliti, e la teoria del succhiamento, l'orrore della natura pel vacuo, e molte altre assurdità della medesima specie, furono a un tratto e per sempre sbandite. Tutta questa classe di fenomeni era pertanto ridotta ad una semplice legge, e l'azione dell'aria era riferita alle stesse cause che governano le forme più grossolane della materia, per poco che la sua sottile natura sembrasse a prima vista andarvi soggetta. Così venne data una nuova ed ampia estensione alla nostra percezione della semplicità ed unità di disegno che regna in tutta la natura; una nuova sorgente di riflessione fu aperta a coloro che erano capaci di profittarne, e si fece un passo importante nell'emancipazione della mente dal giogo dei pregiudizi e di una autorità da lunga mano stabilita.

La nostra ammirazione dell'ingegno che pose Torricelli in grado di fare un sì gran passo nelle regioni della verità, a dispetto di tutti gli ostacoli che presentava un errore lungamente seguito, s'accresce ancora nel vedere la generosità d'animo con la quale si duole che queste scoperte non siano cadute in sorte a Galileo. « La generosità di Torricelli, osserva il professore Playfair, fu forse ancora più rara del suo ingegno; è maggiore il numero di coloro che avrebbero potuto scoprire la sospensione del mercurio nel barometro, che di quelli i quali sarebbero stati vogliosi di attribuirne l'onore della scoperta ad un maestro o ad un amico ».

Stabilito una volta il principio, se ne vide presto derivare una moltitudine di conseguenze. Quantunque volte, per qualunque causa, la densità dell'aria viene a variarsi, un cambiamento corrispondente debbe se-

guire nell'altezza della colonna d'acqua, di mercurio, o di altro liquido nel tubo voto d'aria. Rimaneva dunque solamente che si misurassero questi cambiamenti con una scala fissa, e la costruzione del *barometro* era compiuta. Il mercurio essendo il fluido più denso che si conosca, fu naturalmente scelto per quest'oggetto, siccome quello che richiede la minor lunghezza di tubo.

Non è da supporsi che una verità di tanta grandezza e di tanto pregio potesse essere introdotta senza opposizione e controversia per parte di coloro che, essendo incapaci di comprenderla, mostrarono la propria ignoranza adducendo le loro difficoltà come vere obbiezioni.

Simili obbiezioni furono occasione che Pascal si facesse a suggerire un compiuto *experimentum crucis*, osservando che l'altezza della colonna di mercurio, sostenuta al piede e in cima di un'elevazione considerevole, dovrebbe essere diversa, siccome la colonna d'aria premente viene ad essere differente. Lo sperimento fu fatto sulla montagna chiamata Puy-de-Dôme nell'Alvernia. La minor colonna d'aria in sulla cima, di necessità, sostenne solamente una minor colonna di mercurio. Quando la legge con cui la densità dell'aria diminuisce in ragione dell'altezza cui ascendiamo nell'atmosfera è conosciuta, questo principio ci somministra il più bello e il più filosofico mezzo di calcolare la nostra elevazione, e coll'introduzione di varie modificazioni e di varie correzioni pratiche, esso costituisce il metodo presente dei misuramenti barometrici delle altezze.

Strettamente connessa con queste ricerche e quasi contemporanea ad esse, fu l'invenzione della macchina

pneumatica di Otto Von Guericke di Magdeburgo, avvenuta verso l'anno 1654. Egli riempì d'acqua un barile e cominciò ad estrarne il liquido con una tromba comune affissa alla sua parte inferiore; ma aveva di poco progredito quando l'aria penetrò a forza nel barile con un forte romore, e lo sperimento fallito fu altrettanto istruttivo, quanto sarebbe stato il suo esito felice. Presto trovò mezzo di riuscire nell'intento facendo uso di un globo di vetro invece di barile.

Questa era tuttavia un'operazione incomoda, e fintantochè fu necessario di avere il recipiente pieno di acqua, non era gran fatto possibile che si facessero sperimenti per illustrare gli effetti del vacuo. A Boyle è dovuto il primo miglioramento e l'aver ridotto la macchina pneumatica quasi alla sua presente costruzione.

Trovata così la macchina, la sua applicazione presto mise in luce molte proprietà importanti dell'aria; la sua elasticità, la sua necessità alla combustione ed alla vita animale, e l'assorbimento di una parte di essa duranti queste operazioni, la sua azione come veicolo del suono, con altre modificazioni de' suoi effetti, divennero soggetto di ovvia dimostrazione; e per mezzo del convincente e popolare carattere degli sperimenti, una conoscenza di quei gran principii della natura che dipendono dalla pressione dell'aria venne generalmente a diffondersi.

In tutti questi sperimenti Wren si segnalò fra gli scienziati dell'Inghilterra; egli propose pure vari divisamenti perchè le osservazioni meteorologiche si facessero in un modo sistematico.

Otto Von Guericke ha fama di aver inventato la macchina elettrica, nella forma di un globo di vetro,

che si metteva in rotazione e si faceva comunicare con un conduttore, nello stesso modo di quelle adesso costrutte con un cilindro o un piattello tondo di vetro. Egli fece molte ricerche intorno a questo soggetto e alla pneumatica. Nacque nel 1602 e morì nel 1686, e la sua opera principale intitolata « *Experimenta nova* » fu pubblicata a Magdeburgo.

A Pascal siamo debitori dello stabilimento sperimentale della gran legge idrostatica, che i liquidi premono in proporzione della loro profondità perpendicolare. Nel suo trattato « *De l'équilibre des liqueurs* » (cap. 1) troviamo la descrizione di quello sperimento fondamentale in cui, in vasi di ogni forma, dimensione o inclinazione, comunicanti alla base, l'acqua starà in tutti egualmente allo stesso livello orizzontale. Egli vide la fecondità di questo principio e lo seguì nelle sue varie applicazioni. Tuttavia vi è qualche dubbio intorno alla parte precisa che gli dobbiamo assegnare nello stabilimento di queste verità, poichè Stevin pose indubitatamente un principio che possiamo intendere come comprendente quello della pressione perpendicolare; ma sino a qual punto si debba considerare averlo compiutamente stabilito, o seguitato nelle sue conseguenze, può esser soggetto di questione. Tuttavia sembra che Pascal sia stato il primo a mostrare, per via di sperimento, il fatto che si deduce da questo gran principio, che la pressione di una picciolissima colonna d'acqua la quale comunichi con un'altra di un diametro qualunque, per grande che sia, della medesima altezza, la manterrà in equilibrio. L'equilibrio adunque sarà egualmente mantenuto se, invece di una grossa colonna di acqua si adatterà uno stantuffo al cilindro caricandolo di un egual peso; vale a dire che la picciola colonna

d'acqua si equilibrerà con ogni peso; e per conseguenza la semplice addizione di un po' d'acqua farà che il peso s'innalzi. Lo stato delle arti non permise allora l'applicazione pratica di questo bel risultamento, che adesso è comunemente in uso nel torchio idrostatico.

Lo stesso celebre filosofo verificò pure che due liquidi di densità ineguale, i quali comunichino l'uno coll'altro per mezzo di un tubo ricurvo, staranno in equilibrio ad altezze inversamente proporzionali alle loro densità. Egli investigò inoltre l'equilibrio dei solidi immersi nei fluidi. In una parola, si può dire che ci abbia somministrato quasi tutti i progressi materiali fatti su quei principii fondamentali che furono originariamente dimostrati da Archimede e poscia da Galileo e da Stevin.

Pascal fu per molti riguardi un uomo straordinario. Egli era nato a Clermont nell'Alvernia, nel 1623. Suo padre, buon matematico, educò il suo genio nascente, che all'età di sedici anni produsse un trattato sulle sezioni coniche, il quale eccitò una grande ammirazione. La sua carriera scientifica fu breve quantunque splendida, e il suo abbandono di questi studi per dedicarsi alla teologia, ed anche a una devota solitudine, è stato variamente giudicato secondo i principii religiosi degli scrittori. Le sue « *Lettres provinciales* » sono generalmente stimate quai modelli di robusta composizione. Le opere idrostatiche non furono pubblicate sin dopo la sua morte avvenuta nel 1662 all'immatura età di trentanove anni.

L'effetto della resistenza dell'aria nel cadere dei gravi fu spiegato da Mariotte per mezzo della macchina pneumatica con quella maniera che si chiama

lo sperimento della ghinea e della piuma (1). Nulla è più facile tuttavia di fare che una moneta e un pezzettino di carta della medesima larghezza cadano a terra precisamente nello stesso tempo senza alcun vacuo. Basta porre il pezzo di carta sulla moneta e lasciarli cadere in modo che conservino una posizione orizzontale.

Mariotte si distinse principalmente per le sue ricerche sulla pressione dell'atmosfera. Egli stabilì la legge importante, che la densità è precisamente proporzionale alla forza comprimente, come è pure l'elasticità. Verificò l'esistenza di aria in uno stato di mescolanza meccanica coi liquidi; e mostrò che esiste fra le loro particelle in uno stato di condensazione. Fece pure sperimenti su molti altri soggetti, e specialmente sulla collisione dei corpi.

Astronomia

Fra i più eminenti discepoli di Galileo, Gassendi fu uno dei gran sostenitori del sistema Copernicano, di cui verificò i principii con accurate osservazioni. Egli mostrò chiaramente l'analogia tra le leggi del moto, quali sono dedotte dagli scrittori di meccanica, e il movimento della terra; e fece sperimenti per provare che un corpo portato da un altro nel suo corso acquista un movimento che conserva dopo che ha cessato di essere in questo modo portato. Questo si riferiva

(1) Vedi il Discorso Preliminare sullo studio della filosofia naturale di Sir J. Herschel. — La ghinea (moneta d'oro) e la piuma cadono in egual tempo nel vacuo della macchina pneumatica.

agli antichi argomenti dei seguaci di Tolomeo contro il movimento della terra, stati poco prima rinnovati da Morin in un trattato che ha per titolo « *Alae Terrae Fractae* ».

Egli fu il primo che osservò il passaggio di un pianeta sul sole, quello di Mercurio che avvenne nel 1631. Keplero lo aveva predetto, quantunque non visse a godere il trionfo di vedere un fenomeno che somministrava una prova così soddisfacente della verità del sistema delle orbite elittiche su cui la calcolata predizione era fondata.

Il primo passaggio di Venere che si sia mai osservato seguì alcuni anni dopo nel 1639, e fu veduto soltanto da Horrox e Crabtree in Inghilterra; avendo il primo scoperto un errore nel calcolo delle tavole ricevute, il quale aveva condotto a credere che nessun passaggio occorrerebbe. Horrox fu uno dei primi ad apprezzare giustamente il merito delle scoperte di Keplero. La sua morte prematura nel 1640 fu una perdita irreparabile per la scienza. Alcuni metodi di computar tavole della luna che lasciò non compiuti, furono grandemente stimati e adoperati da Newton.

Le orbite elittiche furono per la prima volta introdotte in un trattato sistematico di astronomia da Bullialdus, o Bouillaud, nella sua « Astronomia Philolaica », 1645. Vi si fece tuttavia un novello tentativo di riferire il movimento in coteste ellissi a qualche centro, intorno il quale fosse uniforme. E per verità, per comodo di calcolo, era spesso da desiderarsi di poter trovare un tal punto. Bouillaud imaginò parecchi metodi per trovare questo centro, e fece calcoli fondati su questa ipotesi, i quali furono forse abbastanza accurati pel suo oggetto. Il dottore Seth Ward, allora

professore di astronomia a Oxford, e poscia vescovo di Salisbury, migliorò d'assai questi metodi, assumendo il fuoco in cui il sole *non* è situato come il centro intorno al quale il moto del pianeta è uniforme. Nelle orbite di poca eccentricità, questa finzione dà una regola che si accosta assai da vicino alla verità. Sembra tuttavia che il dottore Ward la riguardasse piuttosto come una vera teoria della natura dei movimenti planetari. Pochissimi, o forse niuno degli astronomi di quei tempi, sembrano in fatto avere studiato o compiutamente inteso le scoperte di Keplero, dalle quali avrebbero potuto vedere a un tratto, che sebbene la finzione di un centro di moto uniforme possa essere conveniente per la computazione, tuttavia la legge della natura non è altra che quella scoperta da Keplero, di un movimento intorno al fuoco in cui il sole è posto; non uniforme in velocità lineare, ma uniforme nelle aree dei settori su cui passa il raggio. Il gesuita Riccioli nell'enumerare varie ipotesi non fa neppur menzione della scoperta di Keplero. La sua opera intitolata il « Nuovo Almagesto », è un ragguaglio elaborato dello stato delle cognizioni astronomiche alla metà del diciasettesimo secolo. Egli era tuttavia nemico della teoria di Copernico; e quantunque adduca i ragionamenti pro e contro, mostra di stimare le prove non dal peso, ma dal numero degli argomenti. Eccessivamente ansioso di sostenere il cadente sistema degli epicicli, in mezzo a molta accuratezza e a molto lavoro, lascia scorgere una mente o al tutto incapace di comprendere le scoperte che cominciavano ad illuminare il mondo, o una determinazione di chiudervi gli occhi e di tener gli altri nell'ignoranza, cosa che forse non è improbabile.

Huygens è stato il primo ad adattare il micrometro al telescopio, trovato da cui dipendono tutte le sottili determinazioni di minute distanze nell'astronomia moderna.

Ma forse la circostanza più essenziale alla perfezione degli stromenti astronomici è l'adattamento del telescopio a quadranti in vece dei semplici traguardi o picciole aperture con cui l'occhio nudo determinava la posizione dell'oggetto osservato. Senza entrare in molte altre cause di superiorità (che furono soggetto di gran discussione a quel tempo), sarà più che bastante d'indicarne una. L'occhio non può apprezzare uno spazio angolare nel cielo che sia minore di circa trenta minuti secondi. Nel miglior quadrante, con la nuda vista, l'altezza debbe essere incerta di quella quantità, il che è un grand'errore paragonato con l'esattezza che richiede la scienza moderna. Se adunque sostituiremo un telescopio che ingrossi soltanto trenta volte, esso ci metterà di necessità in grado di fissare la posizione con una differenza non maggiore di un minuto secondo.

Sembra che quest'idea sia stata per la prima volta messa in pratica dall'astronomo francese Picard circa il 1665; ma essa fu originalmente suggerita da Gascoigne nel 1644, e da una lettera di lui appare che egli la mettesse attualmente in uso.

Vari metodi furono suggeriti per accrescere l'accuratezza cui si potrebbe portare la *lettura*, come si chiama, delle indicazioni dell'indice sull'arco diviso di qualunque stromento astronomico. Quello chiamato il *vernier* dal suo inventore, e che fu adottato ad esclusione di ogni altro, venne suggerito nel 1631. È questa un'invenzione che difficilmente può essere vinta per affinamento di principio e semplicità di applicazione.

Quarant'anni erano quasi trascorsi dalla prima osservazione di un'apparenza anomala in Saturno, fatta da Galileo, quando Huygens, con più potenti telescopi di sua propria costruzione, scoprì che tutte quelle apparenze erano presentate da un largo anello stiacciato circondante il pianeta, e veduto sotto diversi gradi di obliquità dalla terra. La maniera con cui questa spiegazione fu gradatamente svolta è assai istruttiva, e tutti i particolari si trovano nel « *Systema Saturninum* » dello scopritore, pubblicato nel 1659. Egli scoprì pure uno dei satelliti, ma secondo il costume de' tempi, si convinse che non ve ne poteva essere alcun altro, *perchè* il numero dei pianeti primari e secondari ascendeva già a dodici, doppio di sei, che è il primo numero perfetto. Tuttavia nel 1671 Cassini scoperse un altro satellite, e quel genere di specolazione passò presto di moda.

Abbiamo già toccato delle difficoltà in cui gli astronomi erano stati lungamente involti, nel trovare le ascensioni rette dei corpi celesti: tutte le determinazioni delle loro posizioni si possono ultimamente ridurre ed analizzare a metodi di riferirle a due piani ad angoli retti: uno di essi è il piano del meridiano, e questo essendo agevolmente trovato, non era difficile per l'astronomo anche nel più rozzo stato della scienza, di misurare la posizione delle stelle in questo piano; vale a dire di osservare la loro altezza, o la loro distanza dal polo quando erano sul meridiano; quindi un elemento essenziale, la loro declinazione, e per essa la loro latitudine, si trovava senza difficoltà. I raffinament moderni hanno per verità dato a questo metodo una maggiore accuratezza, ma il principio non poteva essere nè più semplice nè più esatto. Il misuramento di posizione in una direzione *trasversale* a queste è l'altro

requisito essenziale; in questo i più antichi astronomi non poterono divisare altro che metodi lunghi ed incerti; qui non v'era alcun piano fisso cui le stelle potessero essere riferite, ma vi era una circostanza che era bensì stata osservata, e di cui gli astronomi avevano tentato di valersi, benchè senza alcun successo. Questa è la rotazione perfettamente uniforme della terra. Se una stella è precisamente al meridiano, un'altra stella a levante di questa verrà al meridiano in un dato tempo dopo di quella; e se paragoniamo questi intervalli di tempo per un certo numero di stelle diverse, essi sono *esattamente* proporzionali alle distanze di quelle stelle in una direzione ad angoli retti al piano del meridiano. Tutta la difficoltà adunque è di procurarsi una misura *esatta* del *tempo*. Se si provvede a questo, le due semplici osservazioni dell'altezza delle stelle sul meridiano, e le differenze dei loro tempi di passare al meridiano, ci danno tosto i due elementi essenziali, dai quali tutte le altre determinazioni astronomiche dipendono. Ora sino al tempo di Huygens non v'era stato, siccome si è detto, nessun mezzo precisamente od anche tollerabilmente accurato di misurare il tempo. Si erano costrutti oriuoli, ma mancava loro quel principio essenziale, — un esatto potere regolatore. Questo era il gran *desideratum* che Huygens adempì, coll' adattarvi il pendolo. Così poterono servire ad uso degli astronomi; e l' oriuolo perfezionato dalle fatiche e dall' ingegno di una lunga serie di artisti eminenti, è adesso una parte essenziale della suppellettile dell'osservatorio, insieme con uno stromento tenuto sempre nel piano del meridiano, e quello che dà la misura dell'altezza in quel piano. Gotofredo Wendelein, astronomo olandese di molto merito, verso il

1660, confermò con un paragone delle sue osservazioni con quelle degli antichi la diminuzione nell'obbliquità dell'eclittica, originalmente indicata da Ticone Brahe. Tuttavia non la determinò con esattezza. Egli trovò pure che le leggi di Keplero si estendevano alle rivoluzioni dei satelliti di Giove.

Giovanni Hevelk o Hevelius, cittadino di Danzica, che fiorì verso lo stesso tempo, fu molto assiduo osservatore, ed arricchì l'astronomia co' suoi accurati delineamenti della superficie della luna. Scoprì pure, in aggiunta alla librazione della luna in latitudine osservata da Galileo, una librazione in longitudine; la prima consistente in ciò che alternativamente vediamo alquanto più dei lembi superiore e inferiore della luna, pel suo non muoversi esattamente nel piano dell'eclittica; la seconda, in ciò che presenta sempre la stessa faccia al centro della sua orbita, ma non alla terra, a motivo della forma elittica dell' orbita, nel cui fuoco la terra è posta. Egli diede pure qualche cenno della forma parabolica delle orbite delle comete.

Gabriele Mouton da Lione, altro astronomo contemporaneo, fu il primo a praticare quel metodo importante dell' *interpolazione*, per determinare la posizione di un pianeta a qualche istante di tempo intermedio a due altri, per cui la sua posizione è data nelle tavole. Usò parimente il pendolo per misurare differenze nell'ascensione retta.

La prima idea dello stromento de' passaggi, cioè di un telescopio soltanto movibile nel piano esatto del meridiano, per osservare i passaggi delle stelle attraverso ad esso, sembra essere stato suggerito da Roëmer verso il 1690, in una forma assai imperfetta.

Cassini il maggiore fu invitato a passare d'Italia in-

Francia nel 1669 da Lodovico XIV, e fu installato nell'osservatorio di Parigi, dove proseguì una lunga serie di accurate e preziose osservazioni, rivolgendo particolarmente la sua attenzione a perfezionare la teoria del bel sistema di Giove, che così leggiadramente rappresenta, su di una picciola scala, il maggiore sistema planetario. Egli scoprì pure finalmente quattro satelliti di Saturno in aggiunta a quello osservato da Huygens.

Tanto egli, quanto Maraldi, e probabilmente altri astronomi di quei tempi, osservarono una circostanza assai notevole connessa con gli ecclissi dei satelliti di Giove. La loro teoria era già sufficientemente determinata, per offerire i dati voluti a calcolare quegli ecclissi. Tuttavia una notevole differenza appariva talora fra il tempo calcolato della loro occorrenza e il tempo osservato. Presto si trovò che le emersioni seguivano quasi quattordici minuti dopo il tempo calcolato, quando la terra era nella parte della sua orbita più lontana da Giove: e che la differenza diminuiva sino alla posizione in cui era più vicina. Pareva che il fatto si connettesse con questa sola circostanza e fosse indipendente da ogni altra. Tuttavia la cosa non era ancora verificata con certezza se non per rispetto al primo satellite.

Una spiegazione affatto semplice si offerse nello stesso tempo a Cassini e ad Olao Roëmer astronomo danese. Non di meno il primo non palesò la sua teoria, essendo incerto se sarebbe confermata dalla sua applicazione agli altri satelliti, i cui elementi non erano ancora abbastanza conosciuti per dar luogo ad alcuna conclusione. Il secondo, meno scrupoloso, manifestò tosto l'idea che la differenza è dovuta alla *velocità*, inconcepibile invero, ma pure finita, *con cui la luce*

viaggia: e che questa è appunto tale da occupare circa quattordici minuti nell'attraversare il diametro dell'orbita della terra. Egli comunicò un ragguaglio di tutta l'investigazione all'accademia delle scienze, nel 1676.

Maraldi ebbe qualche difficoltà ad ammettere questa spiegazione, osservando che un simile effetto dovrebbe essere sensibile, in un grado minore, secondo la posizione di Giove per rispetto al suo afelio; ma l'osservazione non era allora abbastanza accurata per far iscoprire un tale effetto.

Osservazioni più moderne hanno dimostrato che così sta la cosa, ed hanno pure esteso il risultamento a tutti i satelliti. Per altro, la prudenza di Cassini e di Maraldi è perfettamente giustificata dai più saldi principii della scienza induttiva, e mentre non possiamo a meno di riguardare con una soddisfazione immediata l'ardito annunzio di Roëmer, dovremmo forse professare una più alta stima per la sana filosofia di Cassini, che lo pose in grado di trovare una così felice spiegazione, fondata su di un gran principio della natura allora, per la prima volta, provato dall'osservazione, e resistere tuttavia alla tentazione di annunziarla come una scoperta, perchè vi mancava ancora una piena e legittima induzione per istabilirla.

Cassini fu certamente uno dei più grandi astronomi della sua età. Egli era nato a Nizza nel 1625, e morì nel 1712. Determinò le rotazioni di parecchi dei pianeti sui loro assi per mezzo delle loro macchie. Diede misuramenti accurati dell'anello di Saturno e della forma stiacciata del disco di Giove. Migliorò grandemente le tavole di refrazione, e, avendo un'idea più esatta del suo ammontare, fu in istato di fare correzioni corrispondenti nell'estimazione della parallasse. Scoprì

quel fenomeno singolare della luce zodiacale, o striscia luminosa, che talvolta si vede stendersi dal sole all'insù quando questo è sull'orizzonte, e che sinora è rimasto senza spiegazione. Compiè la teoria della librazione della luna, dimostrando che il suo asse di rotazione non è perpendicolare all'eclittica, ma leggermente inclinato, e che i nodi dell'equatore lunare sempre coincidono con quelli dell'orbita. Questo spiegava in modo soddisfacente ciò che era stato prima osservato, che il periodo delle ineguaglianze della librazione coincideva con la rivoluzione dei nodi dell'orbita.

Ottica — Telescopi

L'ottica, come tutte le parti delle scienze naturali, ha grandi obbligazioni a Huygens. Pare ciò non ostante che questa scienza sia stata quella che maggiormente occupò la sua mente. La sua Diottrica è un'opera che per la maggior parte fu composta nella sua gioventù, ma che non fu pubblicata sin dopo la sua morte. Essa è scritta con gran chiarezza ed esattezza, e dicesi che fosse uno de' libri prediletti di *Newton*. Benchè cominci dai primi elementi, essa contiene un pieno sviluppo di tutti i particolari della costruzione dei telescopi, parte della scienza in cui l'autore era anche praticamente eminente. Egli levigava lenti e costruiva telescopi colle sue proprie mani, e diede per appendice alla sua Diottrica i risultamenti della sua esperienza in un opuscolo intitolato « *De formandis vitris* ». Dava lunghezze enormi ai suoi telescopi. Alcuni dei suoi vetri obbiettivi sono ora presso la Società Reale di Londra, ed hanno 130 e 150 piedi di lunghezza focale. Tali stromenti

erano difficili a maneggiarsi. Per renderli tuttavia più maneggevoli, Huygens abbracciò il partito di far intieramente senza del tubo, collocando il vetro obbiettivo in cima di un'alta pertica o di un edifizio, e volgendolo nella voluta direzione per mezzo di ordigni mentre poneva nel basso il vetro oculare. Con queste smisurate lunghezze si otteneva un doppio vantaggio.

Il potere d'ingrandire di un telescopio dipende dalle *relative* lunghezze focali de' suoi vetri obbiettivo ed oculare; maggiore è il rapporto di quella del primo a quella del secondo, maggiore è il potere del telescopio. Ma questo (almeno in teoria) non rende necessaria la conseguenza che l'*assoluta* lunghezza focale dell'obbiettivo sia grandissima. In pratica v'è tuttavia in questo rispetto un vantaggio; ma l'oggetto principale dipendeva da un altro principio. Già si conosceva bene il fatto che, nella refrazione obliqua, la luce si separa in colori; ed una picciola parte qualunque di una lente convessa è, in fatto, un prisma, cosicchè i raggi procedono al fuoco, separati nei colori prismatici, il che è cagione che l'imagine formata al fuoco sia per così dire orlata di una frangia di colori, e resa ad un tempo indistinta per mancanza di convergenza di quei raggi colorati al medesimo punto: ma presto si trovò che il grado in cui questo ha luogo è indipendente dalla lunghezza focale della lente, e finchè il suo diametro (od apertura come viene chiamata) non varia, il grado di colore sarà pur anche lo stesso. Quindi aumentando grandemente la lunghezza focale, l'orlo colorato rimane lo stesso, mentre l'imagine (con un dato vetro oculare) è ingrossata d'assai in proporzione; ovvero l'orlo colorato può farsi che vi abbia una proporzione infinitamente picciola, e così l'inconveniente sarà quasi

del tutto rimosso. Vedremo poi perchè adesso non si faccia più uso di queste costruzioni.

Il soggetto dei colori nella refrazione della luce aveva attirato l'attenzione del Dr. Barrow, allora professore Lucasio di matematica a Cambridge; ma la teoria che ne diede non era niente affatto soddisfacente nè filosofica. È tuttavia grandemente probabile che la sua promulgazione sia stata l'occasione immediata per cui Newton diresse la sua attenzione a questo soggetto. Barrow trattò le parti matematiche dell'ottica con tutto il suo grande ingegno, e discusse alcuni dei più difficili problemi ad esse relativi, allora studiati dai geometri, nelle sue lezioni date nel 1668 e pubblicate nell'anno seguente.

L'invenzione del telescopio *a riflessione* presenta una modificazione del medesimo principio teorico, sul quale è costrutto il telescopio a refrazione. In un punto di vista astratto, esso è forse anche più semplice e più ovvio del secondo; e, ad ogni modo, tale che ha dovuto presentarsi da se stesso alla mente, per quanto concerne il principio. Il ridurlo in pratica richiedeva qualche ulteriore combinazione.

Raggi di luce da un oggetto lontano cadenti su di uno specchio concavo, produrrebbero un'imagine nel suo fuoco, che (in teoria) potrebbe essere ingrossata da un vetro oculare; ma come apporre l'occhio in quel luogo senza intercettare la luce? L'uso del vetro obbiettivo o, in questo caso, del riflettore, è semplicemente di raccogliere una gran *quantità* di luce: quindi il praticare un picciol *buco* nel suo mezzo non ne impedirà gran fatto l'uffizio. Un secondo picciolo specchio, collocato in faccia al grande, intercetterà pure solamente una picciola quantità di luce. L'occhio

essendo posto con un vetro oculare dietro il grande specchio rimpetto il buco, riceverà allora l' imagine rimandata dal picciolo che ha ricevuto dal maggiore i raggi radunati nel suo fuoco a formare quell'imagine: così la difficoltà viene superata.

Quest'invenzione è dovuta a James Gregory professore di matematica a St. Andrew, e poscia per breve tempo a Edimburgo. Egli ne diede una descrizione nella sua « *Optica promota* » nel 1663. Fu d' allora in poi conosciuta sotto il nome di costruzione Gregoriana. Cassegrain la modificò poscia facendo il picciolo reflessivo convesso in vece di concavo.

L' « *Optica promota* » contiene pure molte importanti investigazioni relative ad altre parti di ottica, specialmente la formazione d' imagini per mezzo di lenti. L'autore diresse parimenti la sua attenzione ai vantaggi che teoricamente risulterebbero dall' avere un riflettore, la cui sezione non fosse l'arco di un circolo, ma quello di una parabola; nel qual caso, per una proprietà di quella curva, tutti i raggi cadendo paralleli all'asse sarebbero accuratamente condotti a convergere al fuoco. Divisò metodi per formare tali superficie; ma le difficoltà pratiche che incontrò furono così grandi che non potè ricavarsi alcun vantaggio da quest'idea. Artisti posteriori hanno sperimentato le medesime difficoltà; e tutti i tentativi di proseguire questo metodo sono stati da lunga pezza abbandonati. Forse poi i vantaggi ne sono stati esagerati, poichè una leggerissima deviazione dall' esatto parallelismo all' asse cagionerebbe una considerevole aberrazione dal vero fuoco.

Gregory fu uomo di molto acume e di mente originale, e, lontano dal consorzio del mondo scientifico, seppe supplire a questo difetto coi potenti mezzi del

suo ingegno. Non avendo comunicazione alcuna col continente, non aveva mai veduto le opere di Snell o di Cartesio, ma dedusse per sè stesso la legge della refrazione, con ricerche indipendenti.

Doppia refrazione.

Nel 1669 Erasmus Bartholinus osservò per la prima volta il fatto singolare, che un picciolo oggetto veduto attraverso un cristallo trasparente di spato d'Islanda appariva doppio. Egli non investigò tuttavia la cosa molto più in là, e si contentò di darne una descrizione assai generale. Era evidente che il raggio era diviso in due dentro il cristallo, ciascuno de' quali seguiva diverse leggi di refrazione.

Tosto dopo Huygens studiò il fenomeno del cristallo doppiamente refrangente, e con una serie di accurati misuramenti determinò le direzioni prese dai due raggi sotto tutte le varie direzioni del raggio incidente. L'uno dei raggi fu trovato seguire la legge ordinaria dei seni nel piano d'incidenza; l'altro seguì una legge variabile di deviazione; e ciò pure in un piano variabile. Huygens giunse tuttavia a rintracciare la legge di questi cambiamenti, che è alquanto complessa. Egli la illustrò con una costruzione geometrica che rappresenta la posizione del raggio in tutti i casi, ma di cui sarebbe impossibile di dare una descrizione generale. Essa era intimamente connessa con una teoria di cui passiamo adesso a dare qualche ragguaglio.

Teoria delle ondulazioni

La parte più curiosa dell'investigazione di Huygens forse consiste nella sua bellissima teoria della luce, la quale eretta da principio sulle più semplici concezioni, ed applicandosi mirabilmente alla rappresentazione dei fenomeni ordinari, fu presto trovata non meno applicabile al caso più complesso della doppia refrazione. Questa teoria fu prima comunicata all'Accademia delle scienze di Parigi nel 1678, e poscia pubblicata in una forma separata nel 1690, sotto il titolo di «*Traité de la lumière*». Proposta in prima per spiegare i pochi fenomeni ottici allora conosciuti, questa teoria con poche modificazioni venne, nelle mani di susseguenti filosofi, a dare la rappresentazione la più compiuta e la più soddisfacente di quasi tutti i vari e complicati risultamenti che gli sperimenti ottici hanno rivelato. L'idea originale di Huygens era semplicemente questa: che un mezzo o etere inconcepibilmente sottile ed elastico si trova in tutto lo spazio e in tutti i corpi; ed esiste in uno stato di maggior condensazione nei più densi. Le onde, le pulsazioni e ondulazioni eccitate in questo mezzo, sono propagate in diverse direzioni secondo l'impulso originariamente comunicato da qualche azione peculiare di quei corpi che chiamiamo luminosi: e queste pulsazioni giungendo ai nostri occhi ci danno la sensazione della vista. Nelle circostanze ordinarie queste ondulazioni sono propagate dal centro originale di eccitamento in una regolar forma circolare o sferica, a un dipresso simile ai circoli prodotti dal cadere di un sasso nell'acqua.

Con una non difficile applicazione di quest'idea, egli

diede una compiuta spiegazione del fenomeno ordinario di reflessione e di refrazione. Nella reflessione le onde rimbalzano in un modo facile a imaginarsi; nel caso di refrazione, a motivo della cresciuta densità, le ondulazioni sono più lentamente propagate dentro quel *mezzo* trasparente, che nell'aria. Quindi per passare nel medesimo tempo, le onde debbono prendere un più breve corso, vale a dire (urtando obbliquamente) debbono procedere in una direzione più vicina alla perpendicolare, e ciò in proporzione all'aumento della densità. La proporzione è quella del potere refrangente del mezzo; e facilmente ne segue, che è la stessa dei seni degli angoli che i raggi incidenti e refratti (o la direzione del raggio perpendicolare alla superficie dell' onda) fanno con la perpendicolare alla superficie refrangente. Questo concordava esattamente col raziocinio di Fermat di cui abbiamo fatto cenno.

La teoria ondulatoria così mirabilmente applicandosi alla refrazione ordinaria di un solo raggio, Huygens procedette a ricercare la sua applicabilità ai fenomeni della doppia refrazione. Si ammetteva che il raggio ordinario seguisse la legge ordinaria dei seni e fosse rappresentato da ondulazioni sferiche. La refrazione straordinaria non poteva essere espressa da alcuna legge semplice (siccome si è già osservato), ma potrebbe essere rappresentata da una costruzione complicata, in cui la sua posizione è determinata per mezzo di un piano che sempre tocchi una *sferoide*. Questa teoria geometrica corrispondeva esattamente alla teoria fisica di una serie di ondulazioni propagate non più in una forma *sferica*, ma *sferoidale*. Assumendo adunque ondulazioni di questo genere in certi corpi cristallizzati, per cui una parte della luce procedeva,

mentre l'altra era propagata in ondulazioni sferiche ordinarie, si dava una fedele rappresentazione del fenomeno della doppia refrazione. Sin qui pertanto la teoria era riguardata puramente come un' ipotesi che spiegava i fenomeni. Essa era da provarsi ulteriormente per essere ricevuta o rigettata, secondochè si applicherebbe o no a quei novi fenomeni che verrebbero poscia a scoprirsi. Ma sebbene, come vedremo, parecchi fatti in ottica fossero tosto dopo prodotti alla luce, non appare tuttavia che si facesse alcun tentativo per applicare questa teoria alla loro spiegazione.

Inflessione della luce

Grimaldi, dotto gesuita, pubblicò a Bologna nel 1665 una notizia di alcuni rimarchevoli fenomeni d'ottica, che acquistarono poscia un alto grado d'importanza. E considerando la natura singolarissima ed anche paradossa di uno di questi risultamenti, fa stupore che non eccitassero maggiore attenzione a quei tempi.

Il fatto principale che esaminò con grandissima cura è questo: — Ponendo un corpo stretto ed opaco, come un filo metallico o un crine, in un raggio di luce solare, che penetri in una stanza oscura per un buco fatto con un ago, egli trovò che l'ombra cadente su di un piano perpendicolare a diverse distanze, era considerevolmente più larga che non dovrebbe essere a quelle distanze secondo una costruzione geometrica di raggi rettilinei. La larghezza dell'ombra era accuratamente definita da certe linee lucide che apparivano stendersi parallelamente ai lati del crine, considerandosi per ombra tutto ciò che fra quelle era compreso,

sebbene l'oscurità gradatamente diminuisse dalla parte centrale andando verso i fianchi. Egli osservò pure che quando la larghezza del corpo opaco non eccede un dato ammontare, la parte di mezzo dell'ombra, in vece di essere uniformemente oscura, è vergata da parecchie linee parallele lucide e oscure, nella direzione della sua lunghezza, la linea di mezzo essendo sempre lucida, e il numero delle linee variando secondo la larghezza e la distanza.

Egli pensò che tutti questi fenomeni fossero prodotti da una certa curvatura o *inflessione*, siccome la volle chiamare, che supponeva operarsi nei raggi nel loro passare presso i lati del corpo opaco; e che queste screziature nell'ombra fossero effetto dell'azione riunita delle due porzioni di luce vegnenti da ciascun lato. Questo risultamento egli l'annunziò apertamente dicendo, che in questo caso l'azione riunita di due porzioni di luce produceva oscurità.

Sembra che il dottore Hook facesse sperimenti simili a questi, senza conoscere ciò che Grimaldi aveva fatto. Nel 1672 e nel 1674 egli comunicò due scritti a questo riguardo alla Società Reale. Da alcune delle sue espressioni si direbbe che seguisse una teoria della luce, somigliante a quella di Huygens, e desse una specie di spiegazione generale dei fatti, supponendo un principio analogo a quello poscia chiamato d'*interferenza* il quale è stato assai estesamente applicato nell'ottica.

Meccanica

Le ricerche meccaniche di Huygens sono di un gran pregio. Oltre a quelle sulla collisione, già menzionate, egli fu il primo a dimostrare la relazione fra la lunghezza del pendolo e il tempo delle sue vibrazioni, come pure fra questo e il tempo della discesa rettilinea giù per la lunghezza del pendolo.

La sua applicazione pratica di questi principii è quella che ha introdotto il gran miglioramento operato negli orologi coll' uso di un pendolo qual potere regolatore. Questa grand' invenzione è spiegata nel suo «Horologium oscillatorium» pubblicato nel 1670, quantunque la data dell' invenzione risalga al 1656.

Il pendolo comune vibra solamente in archi circolari, ma finchè questi non sono estesi oltre picciolissimi limiti, i tempi di tutte le vibrazioni sono precisamente eguali. Se questi archi saranno maggiori, quest' eguaglianza non è più conservata. Fu una delle investigazioni di Huygens il cercare una curva, in cui, se un corpo si muova come pendolo, le vibrazioni in tutti gli archi siano eguali; e fu un risultamento matematico che questa curva debba essere la cicloide. Secondo il modo ordinario di sospendere un pendolo, esso viene necessariamente a vibrare in archi circolari; ma Huygens trovò un metodo fondato su di una proprietà geometrica della cicloide per fare che un pendolo oscillasse in quella curva; nel qual caso i suoi movimenti in tutti gli archi, grandi o piccioli sarebbero strettamente *isocroni* (1). La proprietà accennata era che l'*in-*

(1) Da ισος, eguale; χρονος, tempo.

voluta di una cicloide è una cicloide; quindi la cordicella che sostiene il peso essendo svolta da un arco o da una superficie di una cicloide, il corpo ch'ella porta muoverà nello stesso tempo nell'arco di un'altra cicloide. Il peso fù dunque sospeso fra due pezzi di legno tagliati in forma di cicloidi. Quando pendeva immobile, la cordicella era una tangente ai due pezzi di legno od archi cicloidali al punto di sospensione dove si toccavano pure l'un l'altro. In qualunque altra posizione la cordicella era in parte avvoltata su di uno degli archi, mentre il rimanente formava una tangente alla curva.

Questo metodo è tuttavia inapplicabile in pratica, e può soltanto essére riguardato come una bella specolazione teorica. Per gli usi pratici, un pendolo semplicemente sospeso, che vibri in piccioli archi circolari, possiede ogni requisito, anche nelle cose che richieggono la massima esattezza.

Parecchi matematici di grido parteciparono con Huygens a queste ricerche, e fra questi troviamo che Wren e Wallis vi ebbero una parte cospicua.

Nella teoria del moto, sembra che un altro principio importante fosse messo in luce dalle ricerche di Huygens: — la scoperta del *centro di oscillazione*, — ricerca di un carattere singolarmente sottile e bello, e che divenne connessa con le più estese specolazioni nella meccanica analitica. La natura di questa investigazione sarà agevolmente intesa, se considereremo per un momento che in un pendolo consistente in una gran massa di materia, ogni particella, se fosse sospesa separatamente, vibrerebbe in un tempo diverso, secondo la sua distanza dal punto di sospensione; adunque, allorchè queste particelle sono tutte connesse insieme, esse debbono influire sui movimenti reciproci; ma pure

ve ne sarà alcuna il cui tempo di vibrazione, quando è indipendente, è lo stesso che quello della massa connessa. La distanza di un tal punto da quello di sospensione era ciò che Huygens investigava, e la sua posizione nella massa n' è chiamato il centro di oscillazione, il quale evidentemente cambierà di luogo in un modo considerevole secondo la figura data alla massa. Huygens imaginò un metodo di ottenere una soluzione generale del problema, sebbene i miglioramenti posteriori nell'analisi abbiano mostrato che questo metodo era più complicato che necessario, ed abbiano considerevolmente generalizzato la sua applicazione.

Scuola fisica inglese — Boyle, Hooke, ecc.

Mentre queste ricerche erano proseguite sul continente, si formava in Inghilterra una scuola sperimentale fedele ai principii della filosofia induttiva. Primo fra i suoi sostegni fu Roberto Boyle che Boerhaave dichiara « l'ornamento della sua età e del suo paese, il quale succedette al genio e alle investigazioni del gran cancelliere Verulamio ». Ed egli non lasciò luogo a dubitare del maestro da cui aveva imparato, poichè nello scrivere i suoi sperimenti ha non pure conservato il metodo di Bacone, ma altresì il suo idioma peculiare e le sue frasi tecniche. Si è già parlato di lui trattando della sua invenzione principale, — la macchina pneumatica. — Ma egli abbracciò un vasto numero di soggetti fisici che coltivò insieme con altre persone devote alla scienza strettamente associate, intorno all'anno 1650. Boyle aveva studiato a Leida, e dopo di aver viaggiato sul continente, dimorò per qualche tempo a Oxford,

dove allora Wallis, Wren e altri, tratti da pari inclinazione, si erano riuniti sotto gli auspici del D.r Wilkins, capo del collegio Wadham, nelle cui stanze si tenevano adunanze regolari di questi amici della scienza; cosicchè Wadham fu chiamato « il collegio filosofico ». Oltre alla pneumatica, le ricerche di Boyle erano più specialmente consecrate alla chimica, a specolazioni intorno alla luce e ai colori, ed alle proprietà del calore solare paragonato col terrestre. Questi e parecchi altri soggetti erano liberamente discussi nelle loro adunanze, e ne erano fatti pubblici sperimenti.

Simili adunanze eransi già tenute in Londra nel 1645, dove il dottor Willis aveva formato una società composta, specialmente in principio, dei professori del collegio Gresham, che allora annoverava nel suo grembo alcuni degli uomini più illustri nella scienza. Il loro numero presto s'accrebbe; e nel 1648 molti dei soci si ritirarono a Oxford, essendo allora la metropoli in istato di grande agitazione, e vi presero parte alle adunanze di cui si è parlato. « Il loro primo oggetto, dice il vescovo Sprat (Storia della Società Reale), non era altro se non di godere della soddisfazione di respirare un' aria più libera, e di conversare tranquillamente l' uno coll' altro, senza essere ingolfati nelle passioni e nelle follie di quella orribile età. E basterebbe che dall' istituzione di quelle adunanze fosse nato questo vantaggio, che per suo mezzo si educò una generazione di giovani pei tempi successivi, le cui menti, ricevendo di là le loro prime impressioni di sane e generose cognizioni, furono invincibilmente armate contro ogni seduzione dell' entusiasmo. Ma io posso, oltre a ciò, avventurarmi ad affermare, che l' università stessa, o almeno una parte della sua disciplina e del suo ordine,

fu salvata dalla rovina, principalmente per l'influenza che quelle persone ebbero sul rimanente de' loro compagni. Nè i buoni effetti di quest' associazione furono limitati a Oxford, ma i suoi soci si fecero conoscere con opere stampate nel nostro idioma e nelle lingue dotte, le quali accrebbero la fama della nostra nazione al di fuori, e sparsero al di dentro una luce vantaggiosa ».

Il D.r Wallis che ebbe gran parte in quelle adunanze ne ha così descritto gli oggetti: « Era nostro scopo (lasciate da parte le materie teologiche e le cose politiche) di discutere e di considerare le investigazioni filosofiche e ciò che vi era connesso:...... insieme con lo stato di questi studi, quali erano allora coltivati nel nostro paese e fuori. Si trattava della circolazione del sangue, delle valvule nelle vene, dei vasi linfatici, della natura delle comete e delle nuove stelle, dei satelliti di Giove, della forma ovale (come allora appariva) di Saturno, delle macchie del sole e del suo rivolgersi sul suo asse. Si discutevano le ineguaglianze e la selenografia, le varie fasi di Venere e di Mercurio; i miglioramenti dei telescopi, e la fabbricazione dei vetri per un tale oggetto; il peso dell'aria, la possibilità o l'impossibilità del vacuo e l'abborrimento della natura per esso; lo sperimento di Torricelli col mercurio; la caduta dei gravi e i loro gradi di acceleramento, con altre cose dello stesso genere, molte delle quali erano allora scoperte novelle, ed altre non erano così generalmente conosciute e ricevute come ora sono; oltre ad altri oggetti appartenenti a ciò che è stato chiamato *Filosofia nuova*, la quale dal tempo di Galileo a Firenze, e di Sir Francis Bacone da Verulamio in Inghilterra, è stata coltivata in Italia, in Francia e

in Germania ed altri paesi stranieri come presso di noi ».

Questo passo interessante ci dà una bella idea dei punti d'investigazione filosofica, i quali eccitavano allora un'attenzione particolare, e ci presenta un piacevol quadro di quella picciola società di filosofi che ricorre al miglior uso della vera filosofia, quello cioè d'innalzare la mente al di sopra delle perturbazioni del mondo, e di somministrare co' suoi puri piaceri intellettuali una sorgente di consolazione in mezzo ai travagli che ne circondano. I registri originali delle cose in quelle adunanze trattate sono conservati nel museo Ashmoleo di Oxford.

Il Dr. Roberto Hooke, uno dei più eminenti di quella società di filosofi inglesi, era uomo di singolare ingegno ed instancabile perseveranza. Egli si distingueva fra gli altri coll'acume della sua mente inventiva, e per una straordinaria versatilità d'ingegno. Ma una certa picciolezza d'animo oscurava le sue belle doti. Egli era invidioso e geloso della fama altrui, ed arrogante nel mettere innanzi le cose sue. Esatto ed ingegnoso, abbracciò quasi ogni parte della scienza, introducendovi quasi dappertutto considerevoli miglioramenti. Ma era troppo pronto a pretendere la priorità in ogni scoperta che fosse annunziata, a pregiudizio di coloro che accusava di essersi appropriate le sue idee.

Allorchè Huygens pubblicò la sua applicazione del pendolo agli orologi, e la sua idea degli archi cicloidali, Hooke pretese immediatamente che entrambe fossero sue proprie invenzioni. Ma la seconda idea non poteva nascere in alcuno senza una conoscenza del principio matematico delle involute, e in geometria Hooke era assai debole. La priorità di Huygens è per

altra parte indubitata anche per altre ragioni. Hooke si attribuì pure l'invenzione della macchina pneumatica, benchè, non v'ha dubbio, che la perfezionasse e ne estendesse l'applicazione. Contribuì molto al perfezionamento della campana da palombaro, ed ha certamente il merito di aver introdotto un miglioramento materiale negli oriuoli, quello di avervi aggiunto la molla spirale per regolare il bilanciere. Probabilmente egli tentò di dare una maggior perfezione a queste macchine, vedendone l'importanza nel gran problema della longitudine. Egli si dedicò molto all'astronomia; introdusse alcuni miglioramenti negli stromenti astronomici, ed entrò con ardore in una controversia con Hevelius, per sostenere il principio, allora per la prima volta messo in pratica, di adattare quadranti ai telescopi invece di semplici traguardi. Questo avvenne verso il 1665.

Nella meccanica pratica siamo debitori a Hooke di molti ingegnosi trovati, nei particolari dei quali ci è impossibile lo entrare. La fertilità della sua invenzione era inesauribile, e troviamo un grandissimo numero di suggerimenti teorici assai ingegnosi, notati nel giornale che teneva de'suoi studi, oltre numerosi miglioramenti che attualmente mandò ad effetto.

Hooke si associò con Wren nelle osservazioni barometriche, col disegno speciale di esaminare l'ipotesi di Cartesio, che le maree sono cagionate dalla pressione della luna sull'atmosfera al suo passaggio al meridiano. È appena necessario di aggiungere che si provò compiutamente l'insussistenza di un tale effetto.

I fenomeni dell'attrazione capillare occupavano l'attenzione di molti de' nostri filosofi a quel tempo, e la dissertazione di Hooke su questo soggetto sembra essere

stata riguardata come la più soddisfacente che allora si producesse: tuttavia la cosa era soltanto imperfettamente compresa.

Così molteplici furono le sue ricerche in quasi tutte le parti della scienza fisica, che non tenteremo di enumerarle. In tutte diede segni espressi di abilità e di genio, che se fossero stati concentrati su pochi dei più importanti soggetti, l'avrebbero certamente collocato in un grado assai più alto fra i filosofi, ed avrebbero conferito maggiori benefizi alla scienza.

La variazione graduale nella declinazione dell'ago magnetico fu primieramente stabilita appieno da Gellibrand, professore nel collegio Gresham, nel 1625, per via di un accurato paragone delle osservazioni di Gunter e Mair, fatte nel 1612, con quelle di Burrows del 1580. La cosa fu poscia trattata da Hooke e da Halley.

Un singolare fenomeno ottico osservato intorno a questo tempo è divenuto poscia di una grande importanza per rispetto alla teoria della luce. Boyle sembra essere stato il primo a porre in iscritto le osservazioni fatte sui colori che si scorgono negli *strati sommamente sottili* di sostanze trasparenti. La produzione di questi colori nelle bolle di sapone era probabilmente stata conosciuta fin dai tempi antichi. Il dottor Hooke fu il primo a trovare che si potevano ottenere colori simili, dividendo il talco in lamine sottilissime. Trovò che il colore dipendeva dalla spessezza, ma non potè giungere a misurare lamine così sottili per poter paragonare il cambiamento di colore con quello della spessezza. Osservò tuttavia un'altra forma di sperimento che consiste nel formare un sottilissimo strato d'*aria*, premendo fortemente due vetri insieme, il che viene a produrre i medesimi colori. Questi variano

secondo che i vetri sono più o meno strettamente premuti, e se uno o tutti e due i vetri sono lenti di picciolissima curvatura, i colori sono disposti nella forma di circoli intorno al punto di contatto. Presto si vide che niuno di questi è colore puramente prismatico, ma non si era fatta ancora una precisa analisi del fenomeno. Gli stessi colori sono pure prodotti da una picciola goccia d'olio che si spanda in uno stato di sottigliezza estrema sulla superficie dell'acqua, e si vedono parimente nelle pellicine che talora si formano sulla superficie dell'acqua stagnante. Nessuna spiegazione soddisfacente sembra essersi presentata a questi filosofi, e la materia fu abbandonata alle future ricerche di Newton e a dare il primo indizio di una certa peculiarità nell'intima natura della luce, che lungamente dopo doveva servir di filo a guidare ad un vasto campo di fenomeni.

Stabilimento di società scientifiche

La seconda parte del diciasettesimo secolo, siccome vedremo più pienamente in appresso, vide la più compiuta rivoluzione nella scienza fisica e specialmente nell'astronomica. Nel descrivere i passi che menarono a questo importante cambiamento, non dobbiamo ommettere di accennare, come uno dei più efficaci, lo stabilimento di società filosofiche che ebbero origine nella prima parte di questo secolo, e le più celebrate delle quali erano in pieno vigore prima del suo finire. L'utilità di simili istituzioni è veramente evidente, ed è inutile il fermarsi a dimostrare la facilità che porgono, o lo stimolo che creano per l'avanzamento delle

ricerche filosofiche. Ma la loro importanza era ancora maggiore al tempo di cui parliamo che al giorno presente. È difficile il farsi una giusta idea dello stato della società in quei tempi, priva com'era di quei mezzi di costante commercio e di comunicazioni non interrotte, che presentemente quasi annientano la distanza ed uniscono il più remoto solitario con la parte più operosa del mondo. Quella comunicazione scientifica in particolare, che adesso in ogni settimana e in ogni mese rende noto ogni progresso nella scienza ed ogni miglioramento nelle ricerche sperimentali, era allora sconosciuta. Il filosofo di quei tempi vivea nella solitudine e proseguiva da sè solo i suoi lavori, cose che hanno dovuto ritardare grandemente il progresso delle scoperte. Per rimediare a questi mali, il primo e naturale spediente, per coloro che attendevano ai medesimi studi, e dove la prossimità dei luoghi lo permetteva, fu di associarsi e di contribuire a promuovere l'opera in cui erano impegnati, con tutti i vantaggi che la cooperazione e lo scambio delle idee potevano somministrare.

Parecchie piccole osservazioni di questo genere furono successivamente formate in Italia, a un dipresso al tempo delle scoperte di Galileo, la più considerevole delle quali fu chiamata l'accademia de' Lincei, e fu protetta dal marchese Federigo Cesi. Essa fu istituita verso il 1611, e Galileo medesimo ne fu socio attivo; ma venne poscia a declinare, e le succedette nel 1657 l'accademia del Cimento, a Firenze, che dovette la sua origine, e la sua alta, benchè breve riputazione, ai discepoli di Galileo, Viviani e Torricelli.

In Inghilterra abbiamo già veduto che, nel tempo delle guerre civili, un picciol numero di persone affe-

zionate alla scienza, si ritirarono dalle misere dissensioni di quell'epoca infelice, alla tranquillità delle discussioni filosofiche. Le loro adunanze cominciarono verso il 1645 in Londra, ma nel 1648 i più attivi fra i soci essendosi trasferiti a Oxford, questi continuarono a radunarsi colà, mentre quelli rimasti a Londra fecero dal loro canto lo stesso. Le due parti della società originaria si riunirono poscia e furono incorporate da Carlo II nel 1662. La prima idea di una tale istituzione sembra essere stata suggerita dagli scritti di Bacone, il quale nella sua « *Nova Atlantis* » aveva dato una bellissima idea dell'ordinamento di una società consacrata all'avanzamento delle scienze naturali.

« La fondazione della Società Reale », si è giustamente osservato, « fu un tentativo di ridurre in pratica la splendida finzione della *Nova Atlantis*. La stessa vasta mente che prima sviluppò il vero metodo d'interpretare la natura, diede pure la prima idea di un'associazione nazionale per intraprendere, con un sistema di sforzi distribuiti e combinati, l'adempimento di quell'opera. Questo romanzo filosofico non fu composto dal suo grande autore per dilettare l'immaginazione, ma per disporre la mente del governo alla fondazione di una pubblica istituzione per l'avanzamento delle cognizioni . . . . Sembra che la base della grande istituzione meditata da Bacone fosse una pubblica dotazione pel mantenimento e per la promozione della scienza. Uno dei difetti da lui notati nel suo bell'esame dello stato delle cognizioni era questo, che la scienza non aveva mai posseduto un *uomo intero*; ed egli fece uso di tutta l'influenza che il suo alto grado e il sublime suo ingegno gli davano per sopperire a questo

difetto.......La Società Reale non tentò di mandare ad effetto questa parte dell'idea di Bacone, ma in ogni altro rispetto copiò, per quanto era possibile, il modello del collegio « de'sei giorni ». Essa non era allora un'associazione d'individui che offrono casualmente le loro contribuzioni ad un capitale comune, ma un corpo politico di filosofi che operava come corporazione e con viste sistematiche, distribuendo a ciascuno de' suoi membri la sua parte di lavoro, e unitamente discutendo e consultando per l'avanzamento delle cognizioni » (1).

A questa sistematica divisione del lavoro nei primi tempi dell'esistenza della Società Reale, dobbiamo alcune delle più importanti scoperte che si siano fatte allora. Basterà il nominare la « Sylva » di Evelyn, e le « Leggi della collisione » di Huygens, Wren e Wallis. Ma questo sistema non continuò lungamente. In Germania l' « Academia Naturae Curiosorum » ebbe principio dal 1652; e lo storico di questa istituzione espressamente ne ascrive l'origine ai suggerimenti dati negli scritti di Bacone. L'Accademia Reale delle Scienze di Parigi fu fondata nel regno di Lodovico XIV, sotto l'amministrazione di Colbert nel 1666. L' Istituto di Bologna, e parecchi altri in varie parti d'Europa sorsero a un di presso a quel tempo.

L'Accademia delle Scienze di Parigi si è in una parte avvicinata più d'ogni altra simile istituzione al modello proposto da Bacone. Oltre ai soci indipendenti essa ebbe una classe di venti *pensionari*, i quali ricevevano uno stipendio dal governo, ed erano obbli-

(1) Discorso di W. V. Harcourt. — Relazioni delle associazioni Britanniche, p. 25.

gati a vicenda a leggere memorie scientifiche nelle loro adunanze, e ciascuno di essi doveva pure al principio dell'anno dar un ragguaglio dell'opera in cui si occupava. Il benefizio che deriva da qualche specie di dotazione, come questa, è incalcolabile. Lo staccare uomini d'ingegno da ogni altra cosa, fuorchè dagli studi scientifici; liberarli egualmente dalle molestie della povertà e dalle tentazioni della ricchezza; dar loro un grado ed uno stato il più rispettabile e il più indipendente nella società, egli è un rimuovere ogni impedimento e aggiungere emulazione al lavoro.

« A questa istituzione, osserva il professore Playfair, la quale operò su di un popolo di grand'ingegno e di attività infaticabile di mente, dobbiamo ascrivere quella sua superiorità nelle scienze matematiche, che per gli ultimi settant'anni è stata così manifesta ». Aggiungeremo che, pienamente concorrendo nella verità di questa sentenza per ciò che riguarda lo stato della scienza e degli uomini scientifici in Francia, non siamo per altra parte sicuri che un simile sistema riuscirebbe egualmente in altri paesi, dove la costituzione generale della società può essere differente, e l'indole nazionale in molti rispetti dissimile.

La Società Reale di Londra è un'associazione perfettamente indipendente, i cui membri, lungi dall'essere stipendiati, contribuiscono a sopportare le spese delle loro adunanze e della stampa de' loro volumi, i quali consistendo per la maggior parte in profonde memorie di natura astrusa e niente popolari, non potrebbero essere pubblicati altrimenti. Anche per questo solo rispetto la Società conferisce un beneficio importante alla scienza del paese; e l'alto carattere e la divolgata celebrità che i volumi delle sue memorie

(chiamate *Transactions*) hanno acquistato, fomentano pure la coltivazione della scienza, collo stimolare potentemente coloro che attendono a simili studi, a produrre memorie, le quali possano ottenere l'onore di essere accolte in così pregiate collezioni. Lo scambio d'idee, e le relazioni personali formate o rinnovate alle adunanze di questi corpi, sono pure vantaggi di non picciolo pregio, mentre le concentrazioni di cognizioni sparse, e il dirigere ad un sol centro l'energia di molte menti, ciascuna potente per la sua parte, somministra mezzi di mutua assistenza nelle ricerche, ed accresce così, in una proporzione quasi incalcolabile, la luce che si spande sopra punti particolari d'investigazione.

Bacone proponendo la sua nuova idea d'istituzione filosofica, è di necessità condotto a giustificare la sua proposizione coll'esempio delle istituzioni esistenti, e col mostrare quanto poco avessero fatto, o per la stessa loro natura e costituzione fossero probabilmente per fare, pel vero avanzamento della scienza. Egli censura con severità, ma senza amarezza, con forti espressioni, ma con una maestrevole esposizione dei fatti, che prova la perfetta giustizia della sua condanna, il sistema dei collegi e delle università de'suoi tempi (1). Osserva che le lezioni e gli esercizi erano tutti di tal natura, che non era probabile si volesse pensare a deviare dall'uso stabilito; — che se alcuno tentasse da sè d'introdurre un cambiamento, tutto il peso ne ricadrebbe su quell' individuo, il quale troverebbe inoltre nel suo tentativo un serio ostacolo al proprio avanzamento. Gli studi di quelle scuole erano ristretti ad un certo numero di

(1) Nov. organon, I. aph. 90.

autori, e quasi imprigionati fra quei limiti, e chiunque si arrischiasse ad uscire da quel sentiero, sarebbe stato immediatamente condannato qual torbido novatore. «Ma, soggiung' egli, nelle arti e nelle scienze, come nelle miniere, tutta la regione dovrebbe risuonare per nuove opere e per continui progressi». Tale era lo stato delle cose a' suoi tempi, nè si troverà di molto migliorato in tempi posteriori. Per ora basterà l'osservare che (quanto a Oxford), quando le forme scolastiche furono in gran parte sbandite sotto Cromwell, la favorevole opportunità che si presentava di stabilire un miglior sistema in loro luogo, non fu trascurata; come abbiamo veduto, da pochi ardenti amici della vera scienza. Tuttavia per varie cause i loro tentativi parziali andarono falliti per quanto riguardava l'università; e col ritorno degli Stuardi l'antico sistema fu ristabilito in tutta la sua autorità.

Approssimazioni alla teoria della gravitazione

Bouillaud, siccome fu osservato, introdusse le orbite elittiche nel suo sistema astronomico. È cosa straordinaria che nella medesima opera egli abbia fatto cenno della gravitazione, la cui connessione con la forma dell'orbita gli era affatto sconosciuta. Egli osserva che «se l'attrazione esiste, essa diminuirà come il quadrato della distanza». Gli sparsi elementi della verità venivano così a radunarsi da tutte le parti; ma mancava ancora la mente maestra che scorgesse la loro connessione e venisse a combinarli insieme in un solo sistema.

L'influenza della gravitazione fu forse più distinta-

mente ancora riconosciuta da Borelli nella sua opera sui « Satelliti di Giove » pubblicata nel 1666. Egli vi mantiene espressamente che tutti i pianeti eseguiscono i loro movimenti intorno al sole, secondo una legge generale, che « i satelliti di Giove e di Saturno si muovono intorno ai loro pianeti primari nello stesso modo che la luna si muove intorno alla terra, e che tutti girano intorno al sole, che è la sola sorgente di siffatta virtù, e che questa virtù gli unisce e collega sì che non possono allontanarsi dal loro centro di azione ».

Nello stesso anno il dottor Hooke lesse alla Società Reale un ragguaglio di una serie di sperimenti per determinare se i corpi provano alcuna variazione nel loro peso a diverse distanze dal centro della terra. I suoi primi sperimenti (come lo confessa egli stesso) furono al tutto inconchiudenti; ma essi lo condussero all'ingegnosa idea di misurare la forza di gravità, osservando le vibrazioni di un pendolo a diverse altezze. Non appare tuttavia sino a qual punto egli abbia messo questo in pratica. Egli diede pure una specie d'illustrazione meccanica del movimento in un' orbita, con un peso liberamente sospeso ad una cordicella che si faceva oscillare tanto in una linea elittica quanto in una circolare.

Nel 1674 Hooke ripigliò a trattare questo soggetto in una dissertazione intitolata « Tentativo di provare il movimento della terra per mezzo dell'osservazione », in cui si trova il seguente passo degno di essere notato: — « Io spiegherò qui appresso un sistema del mondo, che differisce in molti particolari da qualunque altro conosciuto, e che risponde in ogni cosa alle regole comuni dei movimenti meccanici. Questo dipende

da tre supposizioni: 1° Che tutti i corpi celesti di qualunque natura siano, hanno un'attrazione o potere di gravitazione verso i loro centri, per cui attraggono non solamente le loro proprie parti, e le trattengono dal dipartirsi da essi, come vediamo accadere nella terra, ma attraggono pur anche tutti gli altri corpi celesti che sono nella sfera della loro attività, e conseguentemente, che non solamente il sole e la luna hanno un' influenza sul corpo e sul movimento della terra, e la terra su di essi, ma che Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno coi loro poteri attrattivi hanno pure un'influenza considerevole su ciascheduno dei loro movimenti. La seconda supposizione è questa: che tutti i corpi qualunque essi siano, posti in un movimento diretto e semplice, continueranno a muoversi in questo modo in linea retta, finchè da qualche altro potere efficace non sono fatti deviare e posti in un moto descrivente un circolo, un'ellisse o qualche altra linea curva composta. La terza supposizione è: che quei poteri attraenti sono tanto più potenti nell'operare, quanto più il corpo attratto è vicino ai loro centri. *Quali poi siano questi vari gradi, non l'ho verificato in un modo sperimentale*: ma questa è un' idea che, se sarà pienamente proseguita, come dovrebb' essere, assisterà grandemente gli astronomi a ridurre tutti i movimenti celesti ad una certa regola, cosa che io penso non potersi mai fare senza di essa. Colui che intende la natura del pendolo circolare e del moto circolare comprenderà agevolmente tutto questo principio, e saprà dove trovare direzioni nella natura per istabilirlo con fondamento. Di questo non do più di un cenno al presente a coloro che hanno ingegno ed opportunità di proseguire queste investigazioni, e sono dotati di perseve-

ranza per osservare e per calcolare, desiderando di cuore che se ne possa trovare alcuno, poichè io mi trovo avere molte altre cose per le mani, che vorrei prima di tutto compiere, e per cui non posso attendere ad altro. Ma questo prometto a chi intraprenderà un tale lavoro, che troverà tutti i gran movimenti del mondo posti sotto l'influenza di questo principio, e che la sua retta intelligenza sarà la vera perfezione dell'astronomia ».

Questo passo (benchè assai malinteso da Delambre) è molto interessante, tanto perchè mostra come Hooke si avvicinasse ad una giusta idea della verità non molto dopo sviluppata da Newton, quanto perchè contiene una confessione dei punti nei quali non potè giungere a scoprire tutta la verità.

Il Dr. Wallis nel 1666 spiegò pure qualche idea del medesimo genere, ed osservò « quanto all'obbiezione che non apparisca come due corpi che non hanno alcun legame possano avere un centro comune di gravità, non risponderò altro se non che è più difficile il dimostrare *come* l'abbiano, di quello che sia il dimostrare *che* l'hanno.

Nel 1683 Sir C. Wren dichiarò che parecchi anni prima aveva procurato di spiegare i movimenti planetari « per mezzo della composizione di una discesa verso il sole e di un movimento impresso, ma che alla fine vi rinunziò, non trovando mezzo di dimostrarlo ».

Stabilimento di osservatorii

A questo tempo si riferisce lo stabilimento di alcuni dei più celebrati osservatorii nazionali. Se la fondazione di società filosofiche è cosa d'importanza nazionale, molto più importante è l'istituzione di osservatorii. Per produrre quei grandi effetti che se ne aspettano, questi stabilimenti debbono essere costrutti e provveduti delle necessarie suppellettili in un modo che eccede le facoltà di un semplice individuo. E il carattere dei risultamenti dedotti dalle osservazioni fattevi, così essenziali alla navigazione (e per questo rispetto solo di un'utilità nazionale immediata) debbe esser tale che non si può ottenere senza quella certa risponsabilità nell'osservatore, che appartiene ad un pubblico impiegato. Ma sotto un più nobile aspetto, la scienza che ha per fine la contemplazione dei corpi celesti, vuole, per quanto è possibile, essere esente dalle vicissitudini delle cose terrestri. Siccome questa scienza non acquista forza se non lentamente, e richiede secoli per compiere le sue scoperte; il sistema d'osservazione non debbe essere limitato dalla vita dell'osservatore, ma vuol essere continuato per una lunga successione d'anni. Abbiamo già parlato della munificenza spiegata da parecchi sovrani delle età passate a questo riguardo. L'abbandono dell'osservatorio di Ticone Brahe, per cui si vaste somme erano state spese, e che avrebbe potuto continuare ad essere più gloriosamente impiegato che non era sotto la stessa sua sovrintendenza, è una triste memoria dell'instabilità di tutto ciò che dipende da una grandezza individuale, e della necessità di erigere queste istituzioni sulla più ferma

base di pubbliche dotazioni. I governi dell'Inghilterra e della Francia ebbero la saviezza di veder questo, e l'osservatorio nazionale di Greenwich fu stabilito nel 1675, e quello di Parigi nel 1667. Nel primo Flamstead e Halley, nel secondo La Hire e Cassini, sono alla testa di lunghe liste di nomi illustri, i quali hanno provato quanto fosse savia la liberalità nazionale che mantenne queste importanti istituzioni. Se vi ha nell'impero Britannico uno stabilimento della condotta e del felice successo del quale la nazione abbia motivo di vantarsi, questo è l'osservatorio reale. A dispetto di un clima che così continuamente mette alla prova la pazienza e così spesso delude le speranze dell'astronomo, questo solo osservatorio ha somministrato una più lunga serie continuata d'osservazioni sistematiche, e tali cui altri si possa compiutamente fidare, che tutto il rimanente dell'Europa insieme. Le sue determinazioni hanno offerto i dati per le estese ricerche, e i più delicati criterii per la teoria, dell'astronomia fisica; e servirono di base pel calcolo di quelle accurate tavole, per cui i matematici d'Europa hanno espresso con un'esattezza così sorprendente la passata, la presente e la futura condizione del cielo, e che nel loro più alto grado di accuratezza sono essenzialmente necessarie alle operazioni più comuni della navigazione.

Figura e grandezza della terra

Si sono già accennati i rozzi tentativi fatti dagli antichi per determinare la grandezza della terra: tentativi che caratterizzano il genio dell'antica scienza. Il principio matematico su cui erano fondati era per-

fetto ed esatto, ed è in fatto lo stesso che presentemente si segue: ma come applicare questo principio in pratica era un punto di considerazione affatto secondario per gli antichi. Avvezzi alle astrazioni della pura geometria, il problema era riguardato come sciolto purchè si dimostrasse che si aveva il potere di risolverlo; ma la produzione attuale e pratica del risultato era cosa di minor momento. La lentezza con cui l'arte dell'osservazione fu maturata, e la gran distanza cui tenne dietro alla teoria, è un fatto notevole nella storia della scienza fisica. È stato giustamente osservato che i matematici avevano trovato l'area del circolo e calcolatone la circonferenza a cento cifre di decimali, prima che gli artisti avessero diviso un arco in minuti; e che molti eccellenti trattati erano stati scritti sulle proprietà delle curve, prima che si fosse tratta una linea retta di qualche lunghezza considerevole, o fosse stata misurata con una tollerabile esattezza sulla superficie del globo (1).

Il primo tentativo che si facesse ne' tempi moderni per rinnovare simili misure, fu quello di Snell, professore di matematica a Leida (già nominato come scopritore della gran legge di refrazione), e descritto in un'opera intitolata « Eratosthenes Batavus » pubblicata nel 1617. Le operazioni furono fatte per mezzo di una serie di triangoli, e il risultamento, dopo la correzione di alcuni errori, fu trovato differire di assai poco dalle misure posteriori. Un altro tentativo fu fatto da Norwood nel 1635. Egli aveva osservato le differenze di latitudine di Londra e di York, e quindi misurato la loro distanza, sebbene in una maniera singolarmente rozza,

(1) Rivista di Edinburgo. V. 391.

seguendo la linea della strada pubblica. «Talora, dice egli, ho misurato, e talora ho contato i passi; e credo d'essere di poco lontano dalla verità». Questo è un fatto che caratterizza l'infanzia dell'osservazione.

Fernel, fisico francese, tosto dopo misurò, con lo stesso disegno, la distanza da Parigi a Amiens per mezzo delle rivoluzioni di una ruota. Le due città sono quasi sotto lo stesso meridiano, e la lunghezza ricavata di un grado non fu molto lontana dal vero.

Ma è evidente che investigazioni come queste non potevano soddisfare alle crescenti domande della scienza. L'Accademia francese delle Scienze prese parte alla questione, ed un accurato misuramento fu intrapreso sotto i suoi auspici dall'abate Picard, che fu il primo a dare un risultato degno di qualche confidenza.

Tutti questi misuramenti erano stati fatti per ricavarne dati da determinare la grandezza della terra. Dalla lunghezza di un grado in miglia si deduceva la lunghezza di tutta la circonferenza, e quindi quella del diametro della terra, supponendo che questa fosse una *sfera perfetta*. Questa supposizione era stata generalmente ricevuta, e sembrava quasi identificata nelle menti degli uomini con la verità che il mondo fosse *rotondo*. E certamente vi erano fenomeni, qual è la forma dell'ombra della terra in un ecclisse, per cui questa opinione poteva essere avvalorata. Tuttavia non v'era alcuna prova che fosse una sfera esatta; e non tardò ad occorrere un fatto che diede luogo per la prima volta a sospettare che la cosa stesse diversamente.

Nel 1671 Richer era stato mandato a fare certe osservazioni astronomiche nelle regioni equatoriali. All'isola di Cayenne, sulla costa dell'America meridionale, si trovò che un eccellente oriuolo, il cui

pendolo vibrava secondi a Parigi, perdeva giornalmente due minuti e mezzo; vale a dire che il pendolo dovette essere accorciato perchè rispondesse al tempo vero. La stessa cosa fu osservata da Varin e Deshayes che alcuni anni dopo visitarono vari luoghi sulla costa di Africa e d'America presso l'equatore; e tuttavia gli oriuoli tornando alle latitudini boreali riacquistavano il loro primo andamento.

Abbiamo detto che questa circostanza diede il primo sospetto che la figura della terra differisse da una perfetta sfera; ma questa illazione non ne fu tratta a quel tempo, e il fatto rimase senza spiegazione e riguardato come cosa singolare, finchè Huygens nel 1690 lo spiegò assai imperfettamente, per verità, ma in un modo dipendente dall'influenza della medesima classe di cause fisiche qual era quella suggerita dalle scoperte di Newton, già pubblicate in Inghilterra prima d'allora, ma non ancora ricevute sul continente. Al nostro gran filosofo è dovuto lo stabilimento della connessione tra la figura reale della terra e la lunghezza del pendolo dei secondi nelle diverse latitudini. Egli è pure nelle sue ricerche che per la prima volta si dimostra chiaramente l'importanza di una stima accurata della grandezza della terra.

Astronomia in Inghilterra

Giovanni Flamstead si era già fatto conoscere con due piccioli ma eccellenti trattati sull' « Equazione del tempo » e sulla « Teoria Lunare ». Il soggetto del primo di questi trattati era poco inteso dagli astronomi finchè egli non l'ebbe in questo modo illustrato. Tosto che fu nominato all'osservatorio di Greenwich egli si

dedicò con tutto lo zelo e l'ardore all'adempimento de' suoi doveri. Il primo de' suoi lunghi lavori si vede nella sua grand'opera intitolata « *Historia coelestis Britannica* », che contiene una gran massa di osservazioni ed un catalogo esteso ed accurato delle stelle fisse. Costrusse pure un atlante celeste di gran dimensione, migliorando d'assai quello di Bayer. Era nato nel 1646 e morì nel 1719.

Il suo successore nell'osservatorio, Halley, cominciò la sua splendida carriera scientifica in età ancora giovanile. La sua prima fatica fu quella di osservare le stelle nell'emisfero meridionale, al quale oggetto intraprese un viaggio a Sant'Elena nel 1676. Risiedette colà un anno, ma il clima era malissimo adattato alle osservazioni astronomiche. Tuttavia tanto era il suo ardore, così infaticabile la sua perseveranza, che pervenne a passare in rivista, benchè assai imperfettamente, quell'emisfero. Osservò pure un passaggio di Mercurio sul disco del sole: e questo raro ed interessante fenomeno fu connesso con una delle più felici specolazioni di Halley e che gli procurò la più meritata lode; vogliamo dire il suo metodo di determinare, per mezzo di osservazioni di questi fenomeni, quegli importanti elementi del sistema solare, le parallassi dei pianeti. Ne daremo una breve spiegazione. Parallasse, in generale, significa il cambiamento in posizione apparente di un oggetto, a motivo di un vero cambiamento di posizione nell'osservatore. A due osservatori, l'uno sulla superficie della terra, l'altro al suo centro (supponendola trasparente), il sole parrebbe trovarsi in due punti diversi nel cielo. L'arco od angolo che misura questa differenza è chiamato parallasse del sole: è in altre parole la stessa cosa

che l'angolo sotteso dal raggio della terra guardato dal sole. Questo evidentemente dipende da due cose, la lunghezza attuale del raggio della terra e la sua distanza dal sole. Nella stessa maniera la parallasse di un pianeta è l'angolo sotteso dal raggio della terra a quel pianeta. Il raggio della terra essendo conosciuto per l'attuale misuramento della lunghezza di un grado sulla sua circonferenza, di necessità la cognizione della parallasse di qualunque corpo celeste ce ne dà la distanza; quindi un uso importante delle determinazioni di queste parallassi.

Un metodo notevole per la sua semplicità e per la sua bellezza occorse ad Halley nel considerare il fenomeno del passaggio di Mercurio sul disco del sole che osservò a Sant'Elena. Difficoltà pratiche, a dir vero, non ne permettono l'applicazione nel caso di Mercurio, ma nei passaggi di Venere esso diviene di un aiuto inestimabile all'astronomo. Il metodo sarà facilmente compreso dopo ciò che abbiamo detto qui sopra. Venere quando è fra noi e il Sole, è più vicino a noi, e per conseguenza ha una parallasse maggiore. Un osservatore posto ad una parte della terra vede l'imagine oscura del pianeta muoversi attraverso il disco del sole, tagliandone forse un picciolissimo segmento, e il tempo del passaggio è accuratamente notato. Un altro osservatore nel medesimo momento, in una parte opposta o lontana del mondo, vede il pianeta in una diversa parte del disco del sole a motivo della sua parallasse e della parallasse del sole unitamente; di modo che lo vede descrivere un'altra linea parallela alla prima tagliandone forse un larghissimo segmento, e nota il tempo del passaggio. Da questi diversi tempi di passaggio è facile il calcolare la *differenza* delle parallassi del Sole e di Venere.

I tempi periodici di Venere e del Sole (cioè propriamente della terra) sono accuratamente noti per osservazione; per la legge di Keplero, le proporzioni delle loro distanze medie sono quinci dedotte, e per conseguenza, le *ragioni* delle loro parallassi. Questo di necessità presuppone la verità della legge di Keplero; ma (come in quasi tutti i raziocinii astronomici) i valori approssimativi sono presi come base per ottenerne dei più accurati. Ora, quando si è data la *differenza* di due quantità e la loro *ragione*, si richiede soltanto la soluzione di una semplice equazione per trovare le stesse *quantità attuali*. In questo modo adunque si possono trovare le assolute parallassi del Sole e di Venere, e per conseguenza le loro attuali distanze; quindi seguono quelle degli altri pianeti, per mezzo della legge di Keplero.

Tale era l'idea concepita da Halley. Da questo solo fenomeno egli proponeva di determinare le dimensioni di tutte le orbite planetarie, e l'osservazione di cui si tratta è di un genere che ammette il più alto grado di precisione. Per verità il fenomeno accade assai raramente. Tuttavia Halley ne raccomandava altamente l'accurata osservazione. Il più vicino ad accadere era calcolato per l'anno 1761, e siccome egli non poteva aspettarsi di vivere per esserne testimonio, indirizzò ai futuri astronomi un'eloquente e tenera ammonizione di non lasciar trascorrere inosservata una sì preziosa occasione, ma di unire tutti i loro sforzi per fare e procurare che fossero fatte osservazioni a luoghi remoti della terra. Vedremo poi che questa esortazione non fu fatta invano (1).

(1) Trans. Filos. 1691 e 1716.

Prima e dopo ch' egli succedesse nell' osservatorio (l' anno 1720), la teoria della luna attirò in un modo particolare l'attenzione di Halley. Egli introdusse parecchi miglioramenti nei particolari, e diede alcuni suggerimenti per perfezionare le tavole lunari, nelle quali non possiamo qui entrare, sebbene fossero di grande importanza, siccome quelle che somministravano i mezzi *pratici* di trovare la longitudine per via dei movimenti della luna. Procederemo soltanto a descrivere la sua importante scoperta di un fatto per rispetto al movimento della luna, che nessun astronómo precedente aveva sospettato.

Prima di quel tempo era dottrina ricevuta che tutti i pianeti non erano soggetti ad altre ineguaglianze se non quelle che si rinnovavano dentro un certo spazio di tempo, e che perciò sono chiamate ineguaglianze periodiche. Il moto medio è determinato da un paragone dei luoghi dei pianeti a tempi assai lontani, abbraccianti un gran numero dei periodi nei quali le ineguaglianze si rinnovano, cosicchè il risultato ottenuto è affatto indipendente dalle dette ineguaglianze. Nessun astronomo aveva sin allora dubitato dell' uniformità di questi movimenti medii, e in fatto la cosa era stata trovata esatta per li pianeti primari. Ma questo non accade per la luna. Il movimento medio di questo satellite è continuamente, quantunque assai lentamente, accelerato; e questo, per non essere soggetto a cambiamenti periodici, è chiamato *acceleramento secolare*; sebbene, rigorosamente parlando, è stato dimostrato aver un periodo di gran lunghezza. Esso fu sufficientemente stabilito da Halley, ed è stato confermato da osservazioni posteriori. Delle sue speculazioni sulle comete parleremo in un'altra sezione.

PARTE TERZA

PROGRESSO DELLA SCIENZA FISICA E MATEMATICA DAI TEMPI DI NEWTON SINO AL GIORNO PRESENTE

Il periodo di storia scientifica che abbiamo percorso nella sezione precedente ci ha presentato una scena varia ed operosa, cagione di gran progressi in ogni parte della scienza. Abbiamo in prima veduto le gran menti di Galileo e di Bacone aprire l'una il sentiero delle ricerche sperimentali, l'altra indicare il metodo da seguirsi; poscia la crescente falange dei loro discepoli proseguire con novello ardore i vari oggetti cui si erano dirette le ricerche; e le loro fatiche, tanto individuali quanto combinate, cooperar tutte ne' loro vari modi alla scoperta di nuove sorgenti di cognizioni e ad aprire nuovi aditi alla verità. Nei risultati delle loro investigazioni abbiamo osservato certi segni infallibili, non tanto in una, quanto in varie parti della scienza ad un tempo, del costante avvicinarsi che si faceva a certi limiti, i quali sembravano opporsi ad un ulteriore proseguimento delle ricerche, come barriere insuperabili alle stesse menti energiche e a quel potere attivo d' ingegno che caratterizzò tanti illustri filosofi

verso la metà del diciasettesimo secolo. Tutto sembrava indicare, o che la mente umana aveva portato le sue invenzioni a quel punto in cui, per la finita estensione del suo potere, debbono trovare un limite insuperabile, e dove debbe esistere un confine oltre al quale il più sublime genio si sforzerà invano di penetrare, ovvero che la scienza si trovava sullo stesso limitare di quei misteri della natura, nei quali altro non le mancava se non una guida altamente favorita e privilegiata per essere ammessa.

Ci tocca adesso di contemplare il grato e dilettevole spettacolo dell'adempimento di questa aspettazione.

La prima sezione sarà occupata dalle scoperte di Newton, e da un ragguaglio generale del suo sistema. Nella seconda esamineremo i lavori de' suoi successori i quali con miglioramenti graduali delle sue scoperte, e con graduali estensioni de' suoi principii hanno portato le scienze fisiche al presente loro stato di avanzamento.

SEZIONE I

Scoperte di Newton

Suoi primi studi

Lo stesso anno della morte di Galileo è quello della nascita di Isacco Newton che seguì il 25 di dicembre 1642, in una casetta annessa ad un poderetto ereditario, che la sua famiglia, posta in umile fortuna, possedeva a Woolsthorpe nella contea di Lincoln. Quell'abitazione è ancora ai dì nostri religiosamente conservata.

Ogni cosa che ha relazione con la vita di un tanto uomo acquista un interesse straordinario; ma siccome l'oggetto nostro è diverso da quello di una biografia, dobbiamo tralasciare molte cose di questa natura su cui volentieri ci fermeremmo, e ci limiteremo a quelle sole che immediatamente si riferiscono a' suoi progressi filosofici, ed alla sua storia in quanto è connessa con quella della scienza.

Di salute delicata sin dalla sua infanzia, egli non si segnalò gran fatto nei trastulli ordinari e negli studi della fanciullezza, ma la sua inclinazione si mostrava nella coltivazione della meccanica pratica. Mentre i suoi compagni si divertivano ad innalzar cervi volanti nell'aria, egli era occupato nell'investigare le migliori forme che si potevano lor dare, e il punto più adattato per attaccarvi la funicella; e il suo ingegno si spiegava in una quantità d'invenzioni, come modelli di macchine, orologi a sole e ad acqua, costrutti mentre era ancor giovanissimo. Più tardi la sua attenzione era maggiormente rivolta ai libri, e ci viene descritto come un « giovinetto savio, silenzioso e pensatore »: ma non sembra che si sia applicato agli studi matematici finchè non ebbe cominciato a risiedere a Cambridge, dove fu ammesso al collegio della Trinità nel 1660, sotto la direzione del dottor Barrow.

Cominciando i suoi studi dagli « elementi di Euclide », si dice che abbia appreso il tutto quasi per intuizione e che quindi procedesse immediatamente alla « geometria di Cartesio ». Questo unito all' « aritmetica degl' infiniti di Wallis » e all' « ottica di Keplero » formò il suo primo corso matematico di studio; e senza dubbio la stessa mente che ebbe il potere di connettere sotto un sol punto di vista i teoremi della geometria

elementare, avrà presto ridotto a qualche uniformità di metodo i preziosi materiali che somministravano le ultime opere qui sopra indicate; e i germi delle sue future scoperte matematiche assai probabilmente furono gettati dalla lettura di questi e di altri scritti di quella età, nella quale si erano fatti tanti passi verso il principio essenziale che a lui era riservato di stabilire.

Analisi della luce

Newton lasciò scritto che nel 1664 comperò un prisma « per far prova del celebrato fenomeno dei colori ». Ma intimo conoscente come era del dottor Barrow, e consultato, come sappiamo che fu, da quel dotto uomo, sulla pubblicazione della sua « Teoria dei colori » (cui abbiamo già fatto allusione), oggetto delle sue lezioni del 1668, Newton non poteva a quel tempo essere arrivato egli stesso ad alcun decisivo risultamento, o convien credere che certamente non avrebbe permesso al suo amico di pubblicare una teoria così piena d'errori, senza farvi qualche osservazione. Ma appare che nell'anno seguente egli aveva già fatto i suoi principali sperimenti, poichè in una lettera di febbraio 1669 fa allusione al suo risultato come già ottenuto senza spiegare distintamente che cosa fosse.

I passi con cui questa sua investigazione procedette, sono chiaramente segnati. Nello stesso tempo ch'egli esaminava il fenomeno dei colori, tentava pure di ridur lenti a quelle forme particolari che abbiamo veduto essere raccomandate da Cartesio, per far convergere *accuratamente* la luce ad un solo punto focale. Oltre le difficoltà che accompagnavano quest'operazione,

Newton venne presto ad accorgersi che, supponendo anche la forma del vetro per quanto si poteva accurata, vi sarebbe un difetto inerente che nasceva dalla produzione del colore. Questo era già stato osservato nelle lenti sferiche, ma le sue leggi non erano mai state investigate; e sembra probabile che, nel caso delle lenti Cartesiane, la condizione matematica di accurata convergenza che dovrebbero riempiere, fu quello che condusse Newton alla probabile connessione fra la refrazione e la produzione di colori, e suggerì l'idea di raggi primari diversamente colorati, ciascuno dei quali va soggetto a un diverso grado di refrazione.

Il fenomeno pertanto appariva nelle lenti; ma nel prisma doveva trovarsi in uno stato di maggiore sviluppo; e questa veniva ad essere l' « *instantia ostensiva* » di Bacone, per cui Newton prescelse questo caso per ragionarvi sopra. Tutta la sua serie di sperimenti è caratterizzata dal più mirabile esempio di cautela filosofica. Un sottile raggio di sole introdotto in una stanza oscura, passando per un prisma, rendeva su di un piano perpendicolare opposto, non un'imagine circolare del sole, come avrebbe dovuto fare se tutti i raggi avessero obbedito alla stessa legge di refrazione, ma un' imagine allungata di quasi cinque volte la sua larghezza, e colorata da un'estremità all'altra da una successione di tinte vivaci confondentisi in modo indistinguibile l'una nell'altra, in cui Newton osservò per altro sette divisioni principali. In questo punto particolare egli fu guidato da alcune distinzioni che probabilmente apparvero ben segnate al suo occhio, ma che certamente non si offrirebbero ad un osservatore ordinario, salvo non fosse già imbevuto di questa idea. Probabilmente la maggior parte di coloro che

vedessero lo spettro per la prima volta, lo dividerebbero piuttosto in tre tinte principali, rosso, giallo e turchino, con gradazioni intermedie. Ma tornando a Newton, la prima questione che si presentava intorno alla causa, era se la differenza di colore non fosse dovuta alla diversità della spessezza del vetro, attraverso il quale i raggi dovevano passare. Questo fu dunque messo alla prova facendo passare due raggi, uno per la parte grossa del prisma, un altro vicino al lembo; ma ciascuno di essi produsse uno spettro compiuto; quindi questa non poteva essere la vera causa. Il secondo suggerimento fu che l'effetto fosse dovuto ad irregolarità nel vetro; ma ciò doveva seguire egualmente in tutte le posizioni del prisma, e raddoppiarsi, in fatto, se la luce passasse per due prismi. Per la qual cosa due prismi esattamente dello stesso angolo furono uniti insieme, così disposti che formassero un solido con superficie parallele, e la luce passando per entrambi, uscì senza alterazione, senza colore, e diede un'imagine perfetta e niente distorta del sole. Questa supposizione fu dunque rigettata. Ma i raggi dalle diverse parti del disco solare fanno l'uno coll'altro un picciol angolo, e la loro incidenza sul prisma è pertanto leggermente diversa. Non potrebbe ciò accrescersi nel corso di due refrazioni, e dar ragione di questo effetto? Questa era semplicemente cosa di calcolo e di misura, e fu mostrata essere al tutto insufficiente.

Newton ricercò poscia se i raggi non potrebbero per avventura piegarsi in curve dopo di essere passati pel prisma, cosicchè, in proporzione al grado di inflessione, venissero a cadere su diverse parti del piano perpendicolare, con diversi gradi di obbliquità. Questo fu confutato dal misurare la lunghezza dello

spettro a diverse distanze dal prisma, e dal trovare ch'essa è sempre in proporzione esatta alla distanza, e i raggi sono per conseguenza strettamente rettilinei.

Avendo scartate tutte queste supposizioni, la questione fu ridotta a più stretti limiti, esempio perfetto della operazione raccomandata da Bacone. Newton pensò allora di mettere alla prova le proprietà possedute da ciascun raggio separatamente. Fatto un buco nel piano verticale, ciascun raggio poteva essere trasmesso mentre i rimanenti erano arrestati. Il raggio trasmesso fu sottoposto a nuovi sperimenti col farlo refrangere attraverso un secondo prisma. Si trovò che i raggi erano refrangibili con questo secondo prisma in gradi differenti; il pavonazzo più e il rosso meno; precisamente cioè nello stesso ordine che erano refratti dal primo prisma nel formare lo spettro allungato. Questo era l' « *experimentum crucis* »; e Newton venne a conchiudere che la luce del sole non è omogenea, ma è un composto di un certo numero di raggi primari, i quali (distinti secondo l'ordine degli spazi, contando da una estremità dello spettro all'altra) hanno ciascuno un diverso grado di refrangibilità corrispondente alla differenza di colore, e che lo stesso potere di refrangibilità è inerente nello stesso raggio, o parte dello spettro, qualunque sia la modificazione seguente cui sia sottoposto.

Telescopio a riflessione

Avendo così investigato il fatto principale, Newton ricorse immediatamente alle applicazioni pratiche per cui aveva originariamente intrapreso queste ricerche. Una refrazione accurata nelle lenti sembrava ora non

solo difficile in pratica, ma dimostrabilmente impossibile; ed essendosi compiutamente assicurato che in tutti i raggi primari, la legge semplice di *riflessione* ha luogo con perfetta accuratezza, egli diresse le sue cure al miglioramento dei telescopi a *riflessione*, che vide teoricamente non essere soggetti ad alcun limite nel loro perfezionamento, purchè in pratica si potessero dare figure perfette agli specchi. Nel considerare la costruzione di Gregory, egli avvisò che invece di riflettere nuovamente indietro l'imagine per un pertugio nello specchio maggiore, sarebbe più conveniente di collocare diagonalmente nel tubo un picciolo specchio piano, e così gettar fuori i raggi per un pertugio nel fianco dove potrebbe fissarsi il vetro oculare. Egli costrusse adunque un simile stromento con le sue proprie mani, e sebbene non avesse più di sei pollici di lunghezza, aveva tuttavia il potere d'ingrandire quaranta volte l'oggetto, cosa che nessun telescopio a refrazione, allora esistente, con una lunghezza di sei piedi poteva fare. Questo egli rappresentò come un « compendio di ciò che si poteva ottenere ». Nella stessa lettera (di cui si è già parlato) in cui descrive questo telescopio al suo amico Ent, egli fa allusione alla sua scoperta della composizione della luce, osservando che un telescopio a refrazione, quando sia fatto secondo la più perfetta teoria di quelle curve per lenti imaginate da Cartesio, non produrrebbe tuttavia maggior effetto di un telescopio ordinario. Questa, soggiunge egli, potrà parere un'asserzione paradossa, « eppure essa è la necessaria conseguenza di alcuni sperimenti da me fatti intorno alla natura della luce ». Ciò non di meno il telescopio parve essere l'oggetto predominante nella sua mente. E sembra probabile che sebbene la costru-

zione di Gregory fosse la prima ad essere proposta, quella di Newton fu innanzi ad essa eseguita. Presto ne compiè un altro di dimensioni alquanto maggiori che, a richiesta della Società Reale essendole mandato onde lo esaminasse, le fu donato nel 1671 dall'autore e poco dopo presentato al Re. Un ragguaglio particolare ne fu trasmesso a Huygens, e lo stromento fu con molta cura conservato dalla Società sino ai giorni nostri. Intanto Newton fu eletto nel numero dei soci.

Nel 1672 Newton si occupò della costruzione di un microscopio a riflessione su di un principio analogo a quello del telescopio. Circa lo stesso tempo propose pur anche un mezzo di migliorare il suo telescopio diminuendo la perdita di luce alla seconda riflessione. Questo fu fatto impiegando, invece dello specchio minore, la totale riflessione interna dal lato dell'ipotenusa di un prisma rettangolo. La luce entrando perpendicolarmente per uno dei lati dell'angolo retto, essendo riflessa ad angoli di 45 gradi, ed emergendo dall'altro, senza refrazione, era gettata all'oculare nel fianco del tubo, come nell'altra costruzione.

Pubblicazione di sperimenti ottici

Essendo stato nel 1669 nominato professore Lucasio di matematica, allorchè il Dr. Barrow si ritirò da quella cattedra, Newton in quello e ne' seguenti due anni diede alcune letture a Cambridge contenenti una notizia delle sue ricerche sull'ineguale refrangibilità della luce; ma esse non sembrano essere state molto conosciute se non qualche tempo dopo. In una lettera a Oldenburgh, segretario della Società Reale, nel

1671, egli parla della sua intenzione di comunicare a quel corpo « una notizia di una scoperta filosofica che m'indusse a fabbricare il telescopio; e non dubito che non sia per riuscire più gradita che la comunicazione di quello stromento: essendo, per mio avviso, la più strana se non la più considerevole scoperta che sin qui siasi fatta nelle operazioni della natura ». Questa comunicazione fu fatta poco tempo dopo e contenne un ragguaglio dei principali sperimenti già descritti. Essa fu ricevuta con tutti quei segni di approvazione e di onore cui una simile produzione aveva giustamente dritto; e in breve ne mandò una seconda in cui si particolareggiavano alcune ulteriori ricerche sullo stesso soggetto.

Queste ricerche erano da principio dirette allo sperimento inverso di ricomporre i raggi prismatici in luce bianca. Questo fu fatto o con un secondo prisma rovesciato, o coll'unire i raggi al fuoco di una lente, o colla mescolanza di polveri colorate nella dovuta proporzione, che illuminate dai raggi del sole e paragonate con un foglio di carta bianca, sotto le medesime circostanze, apparvero essere precisamente della medesima bianchezza. Mostrò pure che i colori di tutti i corpi sono intieramente dipendenti dalla luce riflessa dalla loro superficie; poichè qualunque sia il colore originale di un corpo, se nessun' altra luce vi cadrà sopra, tranne uno dei raggi prismatici, esso apparirà affatto del colore di quel raggio. Queste memorie presto fecero acquistare al loro autore una gran riputazione. Le sue scoperte furono conosciute sul continente, e quantunque in generale si facesse loro la giustizia che loro era dovuta, tuttavia presto ebbero a sopportare, tanto nel paese quanto fuori, la guerra d'ignoranti e pregiudicati antagonisti.

Critiche degli sperimenti ottici

Pardies, professore di matematica a Clermont, mostrò la sua ignoranza proponendo la stessa difficoltà che Newton aveva con tanta cura esaminata, prima di venire alla sua conclusione, e che era tratta dalla grandezza angolare del sole. Quando poi quest'errore gli fu dimostrato, egli persistette a cadere in altri ancora più frivoli.

Linus, fisico di Liegi, affermò che il fenomeno era dovuto a qualche riflessione della luce del sole da una nuvola, e denunziò la legge di refrangibilità ineguale come impossibile; aggiungendo molte assurde cavillazioni intorno al modo di Newton di fare i suoi sperimenti.

Per qualche tempo Newton ricusò di rispondere ad alcuna di queste osservazioni; ma alla fine, alle calde sollecitazioni di Oldenburgh, consentì a fare una risposta. Mariotte ed altri fecero obbiezioni perchè non poterono riuscire a ripetere gli sperimenti. Désaguliers dimostrò evidentemente che questo si doveva attribuire al difetto delle dovute precauzioni.

Gascoigne, amico di Linus, prese poscia ad esaminare questo soggetto, ma errò nel prendere per vero spettro quello formato per riflessione dentro il prisma, che è colorato se il prisma non è equilaterale. Lucas di Liegi, amico dei predetti, oppose la sola vera e sostanziale difficoltà, osservando che lo spettro formato dal suo *prisma*, quantunque in tutti gli altri rispetti simile a quello di Newton, *non era cotanto allungato* quanto Newton l'aveva trovato essere.

La discussione di quest'obbiezione fu singolare pel

modo positivo con cui ciascuna parte sostenne l'accuratezza de' suòi risultati. Ed è ancora più singolare che un filosofo sommamente cauto qual era Newton nel trar conclusioni, abbia sempre tenuto per certo ed anche positivamente affermato, ciò che certamente non era provato, cioè: che tutte le sorta di vetro erano eguali nel loro potere di separare i raggi; o che un *mezzo* il quale ha un maggior potere di refrangere un raggio bianco o composto, avrebbe necessariamente una *maggior differenza* nel grado in cui refrangerebbe i differenti raggi primari. Tuttavia così stava la cosa, e questa differenza che esiste in non picciol grado fra i corpi trasparenti, rimase sconosciuta come legge generale filosofica sino ad un tempo di molto posteriore. Il prisma di Lucas era di una specie di vetro diversa da quello di Newton, ed aveva un minor potere di separare o « *disperdere* ».

Non prima ebbe terminato di disputare con questi sperimentatori, Newton fu assalito da filosofi più formidabili. Il primo di questi fu Hooke, uomo che da quanto abbiamo già veduto della sua dottrina e della sua indole, doveva essere un antagonista altrettanto spiacevole quanto potente. In questo caso si mostrò principalmente sotto il primo di questi aspetti. Il suo disordinato desiderio di fama l'aveva effettivamente indotto a entrare in molte specolazioni sulla luce, nelle quali s'immaginò di poter fare maggiori progressi che non erano ancora stati fatti. Per conseguenza, quando Newton produsse i suoi compiuti lavori, — il telescopio a riflessione e l'analisi della luce, —Hooke, mortificato di esser vinto, prese occasione in prima di criticare il telescopio con malconsigliata severità, e nello stesso tempo annunziò di possedere un metodo infallibile di perfezionare ogni

sorta di stromenti ottici, di modo che « quasi tutto ciò che si è saputo, imaginato o desiderato in ottica poteva essere eseguito con gran facilità ed esattezza ». Che cosa fosse questo gran segreto non si seppe mai. Passò in secondo luogo ad esaminare gli sperimenti prismatici di Newton e fu costretto a confessarne l'accuratezza; ma ne combattè la conclusione come contraria alla teoria delle ondulazioni che aveva abbracciata. La refrangibilità ineguale è stata in vero riguardata come un'obbiezione a quella teoria sino a tempi più recenti; ma non è certo che la teoria di Hooke fosse la stessa che quella di Huygens. Egli tentò di formare una teoria dei colori che concordasse con la sua ipotesi; ma la spiegazione che ne diede era altrettanto lontana da ogni conclusione sperimentale, quanto da un'ipotesi qualunque connessa con le ondulazioni che meritasse ancora una qualche attenzione. I suoi argomenti furono particolarmente diretti contro la dottrina che fa consistere la luce in un'emissione di particelle materiali dotate di una velocità inconcepibilmente grande, alla quale Newton era propenso. E secondo le sue idee sosteneva non esservi se non due colori primari, — il giallo e il turchino.

Newton fece una confutazione dignitosa di argomenti che così poco la meritavano; e replicò a tutte queste specolazioni ch'esse non intaccavano menomamente le sue conclusioni sperimentali, le quali dovevano riguardarsi come affatto indipendenti da ogni teoria della natura della luce. Dimostrò l'assoluto errore di supporre due soli colori primari. Huygens era stato uno dei primi a riconoscere il pregio delle scoperte ottiche di Newton, e in una sua lettera ne parla come di verità, « in paragone delle quali tutte

quelle che sin allora si erano fatte conoscere, erano affatto prive di sostanza e puerili ». Tuttavia, temendo forse per la sua teoria delle ondulazioni, poco tempo dopo comunicò a Oldenburgh alcune obbiezioni che gli si erano affacciate, e tentò di combinare una teoria dell'origine dei colori che fosse più d'accordo coi principii che professava. Sembra per altro che questa fosse una specolazione affatto indegna del suo grande ingegno; e Newton vi replicò in una maniera moderata, ma pienamente convincente. Non appare che questo carteggio cagionasse alcuna rottura nell' amicizia di questi due uomini illustri. Tale era però l'orrore che Newton aveva per ogni specie di controversia, che fu tormentato da queste dispute in un modo particolarmente sensibile. Nella sua lettera a Oldenburgh, che contiene la sua prima replica a Huygens egli esprime fortemente quanto gli dispiacciano queste interruzioni della sua tranquillità; e soggiunge eziandio: « Intendo di non darmi maggior pensiero delle cose della filosofia ». In una lettera susseguente, nel 1675, egli parla di alcune ulteriori ricerche che aveva avuto intenzione di comunicare alla Società, ma aggiunge: « Trovo che mi va ancora contro genio il metter la penna in carta su questo soggetto ». Ed al suo illustre contemporaneo Leibnitz, dice espressamente: « Fui così perseguitato da discussioni sorte dalla pubblicazione della mia teoria della luce, che biasimai la mia imprudenza di aver abbandonato un sì gran bene qual era la mia quiete per correr dietro ad un'ombra ».

Colori periodici ecc.

In dicembre 1675 Newton mandò alla Società Reale un « Discorso sulla luce e sui colori » il quale, oltre al contenere tutti i particolari dei vari sperimenti della decomposizione e ricomposizione della luce, atti a fortificare tutta la dottrina contro ogni obbiezione imaginabile, conchiudeva con una notizia de' suoi sperimenti sui *colori di strati o lamine sottili*, e sulla loro connessione coi colori dei corpi naturali.

Abbiamo già descritto la natura generale di questo fenomeno. L'ostacolo principale a spiegarlo era la difficoltà di stimare l'immensa sottigliezza di tali strati. Ma Newton vinse questa difficoltà con la sua solita sagacità ed accuratezza. Egli formò un sottile strato d'aria premendo insieme due lenti, di larghissimi, ma leggermente diversi, raggi di curvatura. Questi raggi essendo conosciuti, diveniva un puro affare di calcolo lo stimare gl'intervalli da cui le due superficie erano separate a diverse distanze dal punto centrale, in cui erano in contatto. I colori, come si è detto altrove, erano formati a guisa di circoli o anelli intorno al punto centrale. I diametri di questi anelli potevano agevolmente misurarsi, e Newton avendo operato questo misuramento con la più scrupolosa esattezza, dedusse con un facil metodo *la spessezza dello strato d' aria corrispondente ad ogni dato colore*.

Questi colori non erano nè gli stessi, nè disposti nello stesso ordine di quelli dello spettro; essi passavano per varie successioni di tinte cominciando dal centro che era nero; e quest'ordine di tinte è stato poscia conosciuto per distinzione sotto il nome di scala di Newton.

Tutto questo a prima vista sembra complesso; ma quando fu analizzato dalla mente sagace di Newton, si vide tosto assumere la maggior semplicità di ordinamento. Se la luce era perfettamente omogenea, — per esempio di raggi rossi, — l'apparenza era quella di anelli rossi con intervalli oscuri; se s'impiegavano raggi turchini, gli anelli erano pure turchini con intervalli oscuri, — *ma di ristrette dimensioni.* Raggi intermedii davano anelli di grandezza intermedia. Il risultamento era pertanto ovvio: — serie di tali anelli *soprapposti* darebbero una serie di tinte composte che non sarebbero esattamente simili in nessuna parte fra loro, e non presenterebbero in alcun luogo un colore semplice prismatico.

Con un'analisi di questo genere Newton potè ottenere valori precisi per le spessezze alle quali qualunque raggio semplice (rosso, per esempio) dava uno spazio lucido od oscuro. Questo apparve non dipendere da altro se non dalla spessezza. Al centro dove poteva supporsi che vi fosse un contatto assoluto, si produceva un'oscurità: ad una spessezza alquanto maggiore uno spazio lucido; quindi crescendo alcun poco la spessezza, veniva un novello spazio oscuro; e ad un nuovo aumento un altro lucido, e così alternativamente, finchè dopo un certo grado le alternazioni divenivano troppo vicine e troppo deboli per essere visibili; ma sembrava che non vi si potesse determinare alcun limite.

Quale era dunque la natura del fenomeno? Pareva che fosse cosa naturale il conchiudere; nessuna luce essere riflessa là dove apparivano le parti oscure, mentre la riflessione aveva luogo nelle parti lucide, e questo dipendere in qualche modo dalla spessezza.

Ma vi era un'altra parte dell'apparenza ancora da

esaminarsi: quando la luce era trasmessa a traverso due lenti così combinate, vi si vedevano pure anelli, ma essi erano esattamente complementi a quelli veduti per riflessione; qui il punto centrale era lucido, e il primo anello, intorno ad esso, oscuro. Vale a dire *a quelle spessezze alle quali la luce non era riflessa, sembrava essere trasmessa*; tutto adunque dipendeva dalla differenza delle spessezze. Il raggio rosso, per esempio, veniva ad essere riflesso o trasmesso secondo che cadeva su di una parte dello strato d'aria, o su di un'altra a quella vicina, la cui spessezza differisse di una certa quantità assai minuta, ma capace di essere determinata. Il raggio adunque penetrando il sottile strato d'aria, ed arrivando alla sua superficie di sotto, era, siccome supporremo, trasmesso; un altro raggio penetrando una spessezza maggiore di quella minutissima quantità, non era trasmesso, ma riflesso indietro all'occhio. V'era pertanto qualche cosa nella natura del raggio che gli permetteva di essere trasmesso ad un punto, e qualche cosa di diverso nella sua natura ad un punto della sua lunghezza, distante dall'altro del minutissimo intervallo accennato, che lo impediva di essere trasmesso e l'obbligava ad essere riflesso: e questa differenza riccorreva perpetuamente ai medesimi intervalli.

Tale fu il raziocinio di Newton: egli ne inferì esser questa una nuova, peculiare, inerente proprietà della luce, affatto *sui generis*; e per esprimere queste alternazioni di stato o natura a quei successivi intervalli, li chiamò « *accessi di facile trasmessione o riflessione* »; la loro lunghezza era soggetto di calcolo, e si trovò che erano maggiori pei raggi rossi, minori pei pavonazzi, e di valore intermedio pegli altri.

Tutta questa investigazione, per la somma complessità apparente del fenomeno, spiega forse più chiaramente d'ogni altra le sorprendenti facoltà d'investigare, di cui Newton era dotato; e sia che riguardiamo la semplice analisi dei colori, la precisione dei misuramenti, o la sagacità che dedusse il modo col quale si può supporre che segua l'effetto, noi siamo egualmente costretti ad ammirare.

Questo soggetto è stato poscia largamente discusso. I misuramenti di Newton hanno conservato la loro riputazione per superiore accuratezza in mezzo a tutti i più raffinati miglioramenti dei tempi moderni. Ma vi è una parte della questione, cui è qui luogo di far allusione, la quale è importante per riguardo al carattere filosofico del raziocinio: cioè, sino a qual punto l'esistenza di questi *accessi* possa essere riguardata semplicemente come un modo di enunciare i *fatti*, o sino a qual punto involva un'ipotesi. Questa questione era stata lungamente ed acremente agitata prima che i disputanti si avvedessero del vero punto nella discussione cui la loro attenzione avrebbe dovuto esser diretta per risolverla; vale a dire se di tutta la luce cadente sullo strato d'aria, *una parte soltanto* o *il tutto* è trasmesso o riflesso; e inoltre se *tutto* l'effetto è prodotto alla *seconda* superficie dello strato, o se la *prima* non vi è in alcun modo interessata.

A queste questioni, si potrebbe dire che non appariva mezzo di ottenere una risposta sperimentale: tuttavia in tutte e due Newton era certamente partito da *premesse* senza prova positiva. Queste premesse davano pertanto alla conclusione il carattere di essere qualche cosa di più che un semplice risultamento sperimentale o una mera enunciazione di fatti; ma ciò non fu veduto se non molto dopo.

Tuttavia queste considerazioni non indeboliscono in alcuna maniera il carattere dei risultamenti sperimentali, nè invalidano la precisione delle determinazioni di Newton delle lunghezze di quegli *intervalli*, con qualunque nome siano chiamati, i quali occorrono, segnati da qualche specie di alternazione peculiare di carattere, nella lunghezza di un raggio di luce. La minutezza estrema di questi intervalli, come pure la peculiarissima natura di una tale proprietà della luce, accrescono la nostra ammirazione del genio che potè giungere a questa scoperta e a questa misura.

I colori prodotti in sottili strati d' aria furono pure riconosciuti prodursi in altri corpi, come nei liquidi, lasciando che una goccia di questi s' insinuasse fra i vetri. Ma Newton osservò che il liquido essendo assai più refrattivo, gli anelli si ristringevano, vale a dire che la medesima tinta era prodotta ad una spessezza minore, e ciò precisamente in proporzione del potere refrattivo: quindi egli inferì che la lunghezza degli *accessi* o *intervalli* si diminuiva quando la luce entrava in un *mezzo* più refrangente.

Un altro fenomeno, alquanto analogo, fu pure osservato da Newton e riferito ad un principio simile; a questo egli diede nome di *colori di strati spessi*. Ecco come si può esprimere la cosa: la luce essendo trasmessa per un picciolo pertugio in un piano, di modo che sia incidente su di uno specchio concavo sferico di vetro con superficie concentriche, il dosso essendone inargentato e l'apertura situata al centro delle superficie sferiche, si vedevano *anelli colorati* sul piano d'intorno; ovvero in luce omogenea anelli lucidi e oscuri alternativamente. Essi divenivano pallidi e sparivano se la distanza del piano era accresciuta o diminuita

oltre una picciola differenza dalla posizione originale; e diminuivano in diametro se si faceva uso di un vetro più spesso. La riflessione dal *dosso* dello specchio era essenziale, poichè impallidivano se l'argento ne era rimosso, e sparivano affatto se vi si applicava una sostanza quasi eguale al vetro in potere refrattivo: nè erano prodotti negli specchi metallici.

Non seguiremo questo gran filosofo nelle sue varie specolazioni connesse con questo soggetto; — la sua teoria dei colori dei corpi naturali che era dipendente da quelli degli strati sottili; o le sue congetture intorno alle relazioni delle proprietà ottiche con le altre dei corpi. Faremo soltanto menzione del suo suggerimento singolarmente profetico relativo alla composizione del diamante. Egli aveva fatto sperimenti pei quali determinò con grande accuratezza i poteri refrattivi di un certo numero di sostanze trasparenti, e conchiuse in generale che quei poteri seguivano quasi l'ordine della densità. Egli trovò tuttavia una notevole eccezione in quei corpi che chiamò «untuosi e sulfurei», vale a dire negli altamente infiammabili, i quali posseggono un molto maggior potere refrattivo che non s'accorda con alcuna relazione alle loro densità. Trovò pure che il diamante (apparentemente di natura così diversa) aveva una peculiarità simile nel suo potere altamente refrattivo; quindi arrischiò la congettura, così compiutamente verificata dalle scoperte moderne, che il diamante «è una sostanza untuosa coagulata».

Pare grandemente probabile che intorno al tempo delle ricerche cui abbiamo fatto allusione, Newton si occupasse a ripetere e variare gli sperimenti di Grimaldi sull'inflessione della luce, e assai probabilmente prima che Hooke avesse comunicato i suoi sperimenti alla So-

cietà Reale, il che fece nel 1674. La notizia di queste ricerche non fu pubblicata finchè non comparve nell'« Ottica » l'anno 1704; ed egli ne parla allora come d'investigazioni fatte lungo tempo innanzi, e messe insieme da memorie sparse. La sua attenzione fu interamente diretta alle frange formate esternamente lungo i lembi delle ombre di corpi in una luce divergente da un sol punto; ed avendole assoggettate a misuramenti assai precisi, formò una teoria per ispiegare la maniera in cui i raggi potrebbero essere inflessi passando pel lembo di un corpo opaco. Mostrò pure alcune forme curiose che le frange assumono quando i lembi opachi sono avvicinati l'uno all'altro in maniera da formare un'apertura per cui passa la luce; nel qual caso l'effetto è assai complicato, specialmente quando i fianchi dell'apertura sono inclinati l'uno verso l'altro; circostanza di cui ha dato un ragguaglio assai particolareggiato. Fece pure menzione di alcuni altri risultamenti, di natura appena intelligibile, ma che furono lasciati, come ne dice, in uno stato imperfetto: « Io intendeva, dic'egli, di ripeterne la maggior parte con maggior cura ed esattezza,.... ma fui allora interrotto, e non posso ora indurmi a considerare nuovamente queste cose ». Abbiamo tutti i motivi di deplorare ch'egli non abbia ulteriormente esaminato questo soggetto, e specialmente per la ragione assai probabile che viene addotta da Sir J. Herschel. — « Senza dubbio ne fu causa il dispiacere che provò per l'opposizione eccitata dalle sue scoperte ottiche; ricompensa indegna, bisogna confessarlo, per un'opera così nobile, ma tale che sgraziatamente se ne trovano molti esempi nella storia della scienza » (Sulla luce. § 742).

Nella sua « Ottica » abbiamo la compiuta teoria de-

l'arco baleno, nella quale l'autore applica la sua scoperta d'ineguali ma costanti indici di refrazione appartenenti ai diversi raggi, per compiere il difetto della spiegazione Cartesiana di questo fenomeno. Alla stessa opera è aggiunta quella ricca collezione di cenni e di suggerimenti filosofici sotto il titolo di *questioni*, in cui si trovano tante e si singolari anticipazioni di scoperte posteriori: nè è da biasimarsi l'autore se in alcune fu meno fortunato che in altre. Le sue osservazioni sulla doppia refrazione del cristallo d'Islanda nelle quali per alcune misure inesatte fu indotto ad abbracciar conclusioni contrarie alla legge così accuratamente stabilita da Huygens, debbono esser poste in quel numero. Per altra parte egli distintamente accennò che sotto certe circostanze un raggio di luce ha diverse proprietà ne'suoi differenti *lati*, cosa ch'egli riferiva a un non so che di analogo alla *polarità* nelle sue particelle; idea che sotto un aspetto alquanto diverso è stata ravvisata in un'immensa classe di fenomeni messi in luce dalle moderne ricerche.

Abbiamo qui seguito la connessione del soggetto piuttosto che l'ordine del tempo, per poter dare, sotto un solo punto di vista, un'idea generale delle scoperte ottiche di Newton; e certamente si vuol ammettere che negli annali della scienza appena si può trovare un altro esempio di un solo individuo che abbia concepito l'idea di ridurre ad un semplice esame sperimentale una classe di fenomeni lungamente noti come un mero soggetto di ammirazione o di frivola specolazione, ed abbia posto questo disegno ad effetto nella maniera più perfetta; mentre per altra parte la medesima scrutatrice sagacità si è mostrata nello scoprire e misurare con la massima accuratezza, certi minuti

fenomeni dai quali fu dedotta una proprietà fisica della luce, di un genere non solamente privo per l'addietro di analogia o di probabilità, ma tale eziandio che la mente la può appena concepire in un modo soddisfacente, sebbene (per quanto riguarda il punto più essenziale del risultamento) sia stata confermata, come una peculiarità inerente alla natura della luce, da tutte quante le ricerche dei moderni. L'«Ottica» è preceduta da una dichiarazione, che il suo disegno è di spiegare le proprietà della luce per mezzo di soli sperimenti senza alcuna mescolanza d'ipotesi. Da questo lato solo essa era una perfetta novità nel tempo in cui comparve; e quando paragoniamo il vero spirito filosofico ch'essa presenta con l'estensione, l'importanza e la precisione dei risultamenti, siamo costretti ad assegnarle un posto fra le prime investigazioni sperimentali e a dire che fra quelle non ve n'ha altra che le sia eguale.

Scoperte matematiche di Newton.

Nell'indicare i progressi di quelle invenzioni che erano dirette a vincere le difficoltà che i metodi elementari non potevano superare, abbiamo parlato dei miglioramenti successivamente introdotti da alcuni dei più gran matematici, e particolarmente nati dai tentativi di risolvere il problema della quadratura delle aree curvilinee, ossia la determinazione di un'area eguale a quella della curva rappresentata da una semplice espressione algebraica dedotta dall'equazione di essa. Abbiamo pure accennato i vari principii che furono suggeriti, ma che ricevettero limitatissime appli-

cazioni; e l'ingegnosa idea di Wallis d'inserire nella serie delle aree conosciute quelle che occuperebbero un luogo intermedio.

Invenzione dei metodi delle Serie e delle Flussioni

Newton nell'intraprendere questo soggetto (ciò che abbiamo ragione di credere facesse fin dal 1665), presto estese il metodo di Wallis coll'invenzione di serie generali; e nello stesso tempo connettè il metodo di tali serie con un altro metodo raffinatissimo che era parimente un miglioramento fondato su cenni che somministravano le invenzioni de' suoi predecessori.

Le serie ch'egli dedusse come generalmente applicabili alla quadratura delle curve, erano, secondo che egli stesso ne dice, fondate sul principio di Wallis; e dal paragonare le forme di quelle già ottenute, egli scoprì una legge a tutte comune. In quelle delle forme che involvevano esponenti frazionali, trovò la serie infinita, sebbene, dovunque poteva renderla convergente, essa dava necessariamente un valore a qualunque voluto grado di approssimazione. Questo era tuttavia strettamente connesso con un oggetto di più estesa importanza ed utilità, cioè un teorema per esprimere *qualunque radice di una quantità composta di due termini* in una serie involvente certe combinazioni di quei termini, secondo una data legge, e che fosse convergente. Egli fu quasi immediatamente condotto a questo teorema, e siccome s'accorse in sull'istante che le radici erano comprese sotto le stesse formole algebraiche come potenze, col semplice adottare l'idea di esponenti fra-

zionali, così vide che questo teorema non era altra cosa se non la forma più generale di quello per innalzare una quantità binomia a qualunque data potenza, in una serie di termini involventi l'esponente e tutte le potenze dei due termini in una certa progressione regolare. Quindi acquistò il nome di *teorema del binomio*.

Questo teorema oltre le sue altre infinite applicazioni, fu direttamente impiegato nella quadratura delle curve, come somministrante un metodo più diretto di quello originariamente seguito, e dal quale aveva in fatto avuto la sua origine. Tutto il corso della scoperta è minutamente descritto in una lettera a Oldenburgh, e fa parte di una serie preziosa che avremo spesso occasione di citare, raccolta sotto il nome di « *Commercium Epistolicum* ». L'applicazione consisteva adunque principalmente in questo: ch'egli ridusse il valore dell'ordinata di una curva in una infinità serie delle potenze intere dell'ascissa per mezzo del teorema del binomio, o per qualunque metodo algebraico più semplice dove il caso lo ammetteva. Dopo ciò, altre considerazioni, simili a quelle impiegate nel metodo degl'indivisibili, determinerebbero la picciola area corrispondente a ciascun termine, e la somma di questi darebbe tutta l'area domandata.

Ma i metodi come quelli degl'indivisibili erano faticosi, pieni di tedio e non connessi da alcun principio che fosse gran fatto generale. La fertilità dell'ingegno di Newton presto supplì anche a questa parte, e trovò un metodo che, per l'applicazione di certe regole facili ma altamente generali, dava la pronta soluzione di tutti i problemi di questa natura. Una lettera del Dr. Barrow del 1669 che si trova nella collezione sopra citata, fa

menzione che alcuni anni prima Newton gli aveva mostrato un trattato manoscritto che non voleva pubblicare, intitolato «*Analysis per aequationes numero terminorum infinitas*», nel quale non solamente tali serie erano impiegate, ma il metodo e il principio generale di connessione erano chiaramente indicati, sebbene non fossero certamente dati in regole precise e formali, con una notazione peculiare.

Newton diede per la prima volta al pubblico un ragguaglio, benchè brevissimo, del suo metodo, nel secondo lemma del secondo libro della sua opera intitolata «*Principia*» nel 1687; e le regole precise e le notazioni furono divolgate dal Dr. Wallis, nel secondo volume delle sue opere nel 1693, dove dà un estratto di due lettere di Newton scritte nel 1692. Questo metodo adunque che il suo inventore chiamò *flussioni*, fu per parecchi anni noto soltanto ai suoi amici; ma questi per mezzo del loro carteggio, presto inchiusero nel loro numero i primi matematici d'Europa. In sul principio dell'investigazione, tuttavia, le diverse serie impiegate per la quadratura erano gli oggetti principali di attenzione, e queste furono in breve comunicate ad alcuni dei più rinomati geometri.

Leibnitz visitò l'Inghilterra nel 1673, ed avendo fatto conoscenza con Oldenburgh, segretario della Società Reale, continuò con lui un carteggio dopo il suo ritorno sul continente. Al tempo della sua visita egli era leggermente versato nelle matematiche, ma la sua gran mente abbracciava ogni soggetto; e dopo il suo ritorno fu presto capace di entrare in quelle materie che cominciavano ad eccitare tanta curiosità, ed anche in istato di prender parte alla discussione. Nel 1674 egli comunicò a Oldenburgh alcune serie di sua propria

invenzione. Nel 1676 Newton, a sollecitazione di Oldenburgh, scrisse una notizia del suo metodo delle quadrature, contenente pure quello delle flussioni, nascosto sotto un anagramma. Questo scritto fu inviato a Leibnitz il quale, nel 1677, rispose a Oldenburgh mandandogli un breve ragguaglio di un metodo egualmente generale che aveva inventato, chiamato da lui *calcolo differenziale*, e di cui dava le principali regole e la notazione. Esso fu per la prima volta pubblicato nel 1684 nelle « *Acta Eruditorum* ».

Così mentre il metodo di Newton rimase soltanto noto a' suoi amici e ai suo corrispondenti, quello di Leibnitz fu pubblicamente annunziato, e rapidamente si sparse sul continente. Due abilissimi coadiutori, i fratelli Giovanni e Giacomo Bernoulli, unirono il loro ingegno a quello dell' inventore, e illustrarono i nuovi metodi con la soluzione di un gran numero di difficili ed interessanti problemi. Tale era la riserbatezza di Newton, e così poco i suoi metodi erano conosciuti e seguiti fra i suoi concittadini, che il primo libro che comparve in Inghilterra sulla nuova geometria (come si chiamava) fu un trattato di Craig, che si dichiarava derivato dagli scritti di Leibnitz e de' suoi discepoli.

Sin qui la storia di queste importanti invenzioni è chiara. Due pregevoli e generali metodi di analisi, applicabili alla soluzione delle medesime classi di problemi, sebbene differissero nella loro notazione, e nel modo in cui il primo principio era concepito, furono scoperti, separatamente e indipendentemente da Newton e da Leibnitz, quasi nello stesso tempo. L' invenzione di Newton fu la prima ma non fu pubblicata se non molto dopo l' altra: Leibnitz non potè torne l' idea da quella di Newton, poichè questa era nascosta in un ana-

gramma; egli fece dunque indipendentemente la sua scoperta, e sebbene fosse posteriore in tempo, fu primo a pubblicarla. Newton nelle sue «*Principia*», fece testimonianza dell'indipendenza della scoperta di Leibnitz, e manifestò un'opinione favorevole del suo merito. Per altra parte Leibnitz sembrava egualmente disposto ad ammettere il dritto di Newton alla priorità. Egli godeva, per verità, del vantaggio di vedere il suo calcolo rapidamente migliorato ed esteso nelle sue applicazioni fra le mani de' suoi amici e discepoli, mentre quello di Newton rimaneva in una comparativa oscurità. Ma non si vide sorgere nè rivalità nè ostilità fra le parti. Alcuni anni dopo troveremo questa tranquillità stranamente turbata; adesso dobbiamo brevemente dare un'idea generale della natura delle scoperte di cui si tratta, per procedere poscia ad altri soggetti di discussione, de' quali tanti, e tutti di altissima importanza, ci si affollano in questo fecondo periodo della storia scientifica.

Idea generale del calcolo delle Flussioni

Ciò che abbiamo detto prima d'ora dei metodi degli infinitesimali e dei tentativi fatti intorno ai problemi delle tangenti e delle quadrature, fu sufficiente a dimostrare quanto si fosse andato vicino ai principii generali. Il metodo delle serie è forse per se stesso il più soddisfacente ad un tempo e il più facilmente applicabile nei casi in cui una soluzione esatta è impossibile; e l'idea essenziale ne è praticamente familiare alla mente di chiunque sia andato tant'oltre da calcolare con frazioni decimali. La nozione di un valore spinto ad un

numero qualunque di cifre decimali, ma che, rigorosamente parlando, non termina mai, quantunque ogni cifra successiva che otteniamo ci porti con gradazione decupla sempre più vicino alla verità, e quantunque possiamo approssimarci così da presso all'esatto valore da non poter determinare od anche concepire la differenza, questa nozione, lo ripetiamo, è praticamente familiare alla mente di ogni calcolatore. Non vi è dunque niente più di questo nel principio di quelle applicazioni di serie di cui abbiamo parlato. L'oggetto e la natura delle serie sono semplicemente di somministrare il mezzo di esprimere una successione di termini, ciascheduno formato secondo la medesima regola o legge, ma ciascheduno (come le successive cifre decimali) avente un valore rapidamente decrescente; di modo che prendendo la somma di un certo numero di essi, otteniamo lo stesso genere di valore approssimativo ottenuto dal prendere un certo numero di cifre decimali.

Le fatiche di Wallis e di Mercatore, e i primi sforzi di Newton e di Leibnitz erano stati diretti alla scoperta di una quantità di tali serie, pei diversi oggetti di esprimere quei valori che non potevano ottenere in termini semplici e finiti, ma che davano le aree ed altri risultamenti da essi cercati. Il gran punto era tuttavia di connettere tutti questi valori, tanto esatti quanto approssimativi, e il metodo di giungervi, per mezzo di un principio e di una regola comune.

Ora abbiamo veduto più metodi successivamente proposti da Keplero, Cavalieri ed altri, ad oggetto di passare da problemi elementari relativi a quantità finite, a quelle più recondite proprietà che essenzialmente involvevano il principio dei limiti; e a un tempo di ovviare al tedio eccessivo dei metodi antichi. Alcuni

di siffatti metodi si avvicinarono d'assai a certi casi di flussioni, o calcoli differenziali. Ma ciò che distingue l'invenzione del *calcolo* (per dargli a un tratto la sua designazione generica), si è la *generalizzazione* di tali metodi, e il ridurre l'idea elementare ad una tal forma, da somministrar regole applicabili a tutti gli oggetti sovra riferiti, e da connettere insieme con un principio comune le operazioni colle quali si conseguivano quegli oggetti; e così non solamente stabilire quelle verità particolari, ma metterci in possesso di un metodo di investigare tutte le questioni dello stesso genere, e aprire la via alla soluzione di un gran numero di altre non ancora imaginate.

Questo gran passo fu fatto dai due grand' inventori del calcolo a un di presso nella stessa maniera, sebbene nel modo di descriverla si sia impiegato un diverso linguaggio.

L'idea comune ad entrambi è quella di considerare tutte le quantità espresse da qualche combinazione di termini algebraici che ricevono valori variabili, come dipendenti solamente dal valore successivamente dato ad una o più delle quantità semplici involte, e che si suppongono variare secondo una maniera semplice ed uniforme; la quantità complessa così dipendente da una o più quantità semplici, è chiamata *funzione* di quella *variabile*, o *variabili* se ve n'ha più d'una. Parleremo dunque d'ora innanzi di una funzione di una o più variabili senza rischio di non esser intesi. Secondo la natura particolare della combinazione algebraica che costituisce la funzione, si vedrà agevolmente che sarà per variare in proporzioni assai diverse in confronto della variabile che supponiamo crescere uniformemente. Per esempio: il quadrato di una quantità ne è una fun-

zione: siccome la quantità è supposta aumentare uniformemente, il suo quadrato aumenta in una ragione molto più rapida. Il suo logaritmo è un' altra funzione, ma questo cresce in una proporzione totalmente diversa. Era egli adunque possibile d'imaginare un metodo generale di paragonare la *quantità della variazione* di una funzione, con la variazione *uniforme* della sua variabile? La quantità d'aumento della funzione cambiava ad ogni momento, epperò non poteva essere espressa da una quantità finita costante; ma non potrebbe essere di natura tale da essere soggetta ad *un limite?* Questo era il punto essenziale, ed ambi i grandi inventori mostravano nelle diverse loro maniere, che *la quantità era in tutti i casi circoscritta, per così dire, entro certi limiti e determinarono il modo di esprimerla in termini della variabile.* Questo, qualunque fosse il linguaggio o la notazione adoperati, o qualunque fosse il modo in cui era dimostrato od illustrato, fu il grande ed essenziale principio, di cui il mondo va debitore ai grandi ingegni originalmente e indipendentemente inventori di Newton e di Leibnitz.

Nessuno di essi tuttavia espresse il principio col riferirlo esplicitamente alla semplice nozione di un *limite:* se ciò avessero fatto, non solamente tutto il misticismo e l'oscurità del soggetto sarebbero spariti, ma si sarebbero evitate molte erronee interpretazioni e molta amarezza di controversia. Ma l'inventore di un gran principio, conscio del pregio e del potere dell'idea che ha concepita, non è disposto a fermarsi per ricercare scrupolosamente quali siano gli esatti metodi per cui si può meglio sostenere e provare, od anche rendere intelligibile: questo era particolarmente il caso di Newton. L'idea che ne diede era precisamente

quella che una mente maestra si fa di un vasto soggetto: senza entrare in tante sottigliezze egli espresse il tutto ad un tratto con un' *ardita metafora*. Il limite della quantità di cui aumenta la funzione egli lo chiamò *flussione* della *quantità fluente*, valore attuale della quantità, dello spazio o di altro risultamento generato a un dato grado della variazione. Considerò la *velocità* con cui fluisce, lo spazio percorso in un dato tempo o che sarebbe percorso se la velocità fosse uniforme. Queste idee, tolte da considerazioni meccaniche, non potevano, strettamente parlando, aver luogo in una investigazione puramente analitica. Tuttavia non erano malacconce ad un' illustrazione, anzi erano così precisamente applicabili per analogia, che quest' analogia fu conservata perfino nei particolari della prova. Inoltre questo modo di vedere la cosa si applicava direttamente a quei soggetti particolari cui s'intendeva principalmente sin dal principio di applicarla; vale a dire alla generazione di spazi curvilinei e poscia alle dottrine della forza meccanica e del moto.

Leibnitz ebbe ricorso alla considerazione degli *elementi infinitamente piccioli* simultaneamente generati, della funzione e della variabile, dell' ascissa e dell'ordinata, ecc.; fra quantità infinitamente picciole, ed anche fra ordini di queste, ciascuno in successione infinitamente minore del precedente, egli concepì che esistessero ragioni finite; — metodo che involve varie difficoltà metafisiche, le quali hanno dato origine a discussioni lunghe e complesse, ma che poi non è essenziale al soggetto ed appartiene piuttosto ai termini in cui è stato espresso che alle idee in questi contenute. Leibnitz chiamò queste ragioni degli elementi infinitamente piccioli i *coefficienti differenziali*.

Sotto qualunque aspetto che si riguardasse, v'era tuttavia minor difficoltà nella prima concezione dell' idea che nel dimostrare la sua generalità, e nel provare che si applicava ad ogni specie di funzioni. Ambi gl'inventori diedero un compiuto sistema di tali regole. Questo costituiva il calcolo *diretto* delle *flussioni* o *differenziale*; l'operazione necessaria per esprimere il limite della ragione veniva ad essere più o meno lunga e difficile secondo la natura della funzione particolare, ma in ogni caso poteva essere applicata senza ostacolo inerente. V'era tuttavia *l'operazione inversa* da considerarsi e da provvedervisi; vale a dire, ciò che praticamente è più importante, quando sono date espressioni che involvono flussioni o quantità differenziali, miste con altri termini i quali sono combinazioni della variabile, trovare la quantità dalla quale una tale espressione potrebbe derivare, come sua flussione o differenziale, secondo le regole già dichiarate. Questa operazione inversa era assai difficile in molti casi, tranne alcuni pochi che erano inversioni ovvie delle operazioni precedenti, e in un gran numero non appariva metodo di ottenere affatto il risultato in termini esatti o finiti. Tuttavia erano questi i risultamenti di cui si aveva attualmente bisogno per tutte le applicazioni più importanti; e qui il pregio delle serie era apparente; qui le forme prima investigate trovavano il loro luogo nel sistema delle matematiche analitiche; dovunque le espressioni di cui si tratta potevano esser ridotte in una serie di termini semplici, ciascuno di questi termini separatamente si poteva agevolmente far dare la quantità che per *differenziazione* l'avrebbe prodotto, e la somma di tutti i termini, se la serie era finita, darebbe il valore esatto di tutta la quantità

generata, ovvero un' approssimazione se la serie era infinita bensì ma convergente. Quest' operazione fu chiamata il calcolo *inverso*, ovvero quello de' *fluenti* o *integrali*: secondo Leibnitz, esso dava la *somma* di tutte le picciole parti elementari: quindi la parola *integrazione*.

Il calcolo adunque ebbe origine dai tentativi di risolvere certe questioni geometriche relative a curve, alle loro tangenti e normali, alla loro rettificazione e quadratura. Il triangolo differenziale imaginato da Barrow non era altra cosa se non una specie di quadro geometrico del limite verso cui tende la ragione degli incrementi, o delle flussioni della curva o tangente della sua ordinata ed ascissa. Il metodo generale adunque somministrò a un tratto il mezzo di tirare tangenti e normali alle curve, il rapporto che determinava la tangente essendo semplicemente il coefficiente differenziale dell' equazione della curva. Quest' idea fu presto generalizzata, e il contatto di curve con altro che tangenti rettilinee si trovò essere espresso da un' estensione dei metodi dello stesso calcolo. L' idea di circoli che *osculavano* curve, od avevano la *stessa curvatura* di quelle a diversi punti della loro periferia, era già famigliare alla mente del geometra; il nuovo sistema porgeva un modo più generale di vedere la cosa, e metteva l'analista in grado di paragonare in questa maniera successivi ordini di contatto. Conclusioni simili furono dedotte relativamente a superficie curve e problemi solidi. Ma sebbene il calcolo fosse così nel suo primo divisamento limitato a simili soggetti, e prendesse molto della sua indole da quegli oggetti geometrici cui veniva in aiuto, tuttavia presto si vide abbracciare un campo più vasto ed applicarsi a funzioni della

classe più comprensiva. Cartesio aveva trovato il mezzo di far entrare la geometria nei dominii del calcolo, riducendola ad equazioni algebraiche. Ma per mettere le relazioni di quantità in generale sotto il suo potere, e per somministrare i mezzi di considerare funzioni di ogni genere in modo da investigare le loro forme e le loro modificazioni per mezzo del calcolo, si richiedevano ulteriori fatiche di analisti, e viste assai più generali.

Alcune delle più semplici e più importanti di queste relazioni furono tuttavia vedute ed investigate sin dai primi progressi del calcolo. Tale era la considerazione dei massimi e dei minimi, di cui abbiamo già toccato in altra occasione. L'idea di Newton era un esempio singolarmente felice dell'esatta ed universale applicabilità della sua metafora. Quando una funzione cresce o decresce sino a un certo punto, e quinci decresce o cresce di nuovo, a quel punto è il massimo o il minimo. È cosa ovvia che la sua *velocità* d'incremento o di decremento varia sino a quel punto dove è *assolutamente zero*; e poscia comincia a crescere di bel nuovo. Così trovando il valore delle quantità involte che porterà la flussione a zero, troviamo il massimo o il minimo.

Un'altra specie di massimo o di minimo che abbonda in problemi del maggior interesse, ma assai più difficili degli ultimi accennati, è quella in cui si debbe trovare la funzione medesima che sarà la maggiore o la minore sotto certe condizioni. Abbiamo già parlato di una classe di tali problemi come conosciuti sotto il nome d'isoperimetrici. Ma l'investigazione nella sua forma più estesa, esercitò l'ingegno dei due Bernoulli, e ricevette da essi e da posteriori analisti la maggiore attenzione.

In un saggio come il presente egli è necessariamente impossibile d'entrare in un adeguato ragguaglio dei diversi rami nei quali le parti dirette od inverse del calcolo si stendono. Basti il dire che le seconde, siccome sono le più difficili e le più importanti, così sono di gran lunga le più estese. Una classe assai ampia ed importante di problemi che si ha a considerare è quella che involve due o più variabili, miste colle loro differenziali in qualunque modo di combinazione in una equazione. Qui la difficoltà è di separarle, se sarà possibile, di maniera che ciascuna variabile rimanga combinata con la sua sola differenziale; ma la cosa può soltanto eseguirsi in certi casi; e sebbene ampie classi di tali equazioni differenziali, come si chiamano, siano state risolute, specialmente per opera dei due Bernoulli, ed abbiano quindi occupato le ricerche dei più eminenti matematici, tuttavia il soggetto è ancora a di nostri pieno di diffcoltà che non sono state vinte.

Progresso dei metodi delle Flussioni

Newton e i geometri inglesi hanno fatto assai poco per perfezionare questa parte di analisi. Per altra parte i matematici del continente s'impegnarono con zelo a migliorarne i metodi e promuoverne le applicazioni. Leibnitz pubblicò nelle « Acta Eruditorum » ed in altri giornali molti scritti pieni d'idee originali e cenni importanti, brevemente svolti, che richiedevano le dilucidazioni che i suoi illustri amici, i fratelli Bernoulli ed altri, erano sempre pronti e capaci di somministrare. Le loro memorie, come le sue, erano sparse nelle diverse opere periodiche di quel tempo; e parecchi anni scorsero

prima che un trattato compiuto spiegasse i metodi generali e gl'illustrasse con esempi. Il primo libro in cui ciò si facesse, almeno per quanto concerneva il calcolo diretto o differenziale, fu l' « Analyse des infiniment petits » del marchese de l'Hôpital, pubblicata nel 1696; opera di gran merito e che molto contribuì a diffondere la conoscenza del calcolo. L'autore era uomo di considerevole ingegno e d'instancabile assiduità al lavoro, e godeva del vantaggio di un commercio istruttivo con Giovanni Bernoulli. Nella collezione delle opere di questo (non pubblicate prima del 1724) si trova inserita una memoria di qualche lunghezza sul calcolo integrale, scritta nel 1691, come è espressamente accennato, ad uso del marchese de l'Hôpital, alla cui opera pare dovesse servire di continuazione.

Oltre alle sue lettere inserite nel « Commercium Epistolicum » Newton aveva già scritto da molti anni, come abbiamo altrove osservato, l' « Analysis per aequationes » ecc. Ma questa, insieme con un'altra sua memoria, non fu pubblicata sino al 1711. Il trattato sulla quadratura delle curve, sebbene scritto nel 1666 non comparve sino al 1704, quando insieme coll' « Enumeratio linearum tertii ordinis » fu aggiunto alla sua « Ottica ». Il trattato sulle flussioni, tradotto da Colson, non fu pubblicato sin dopo la morte dell'autore nel 1736; ed un'altra memoria analitica rimase inedita, finchè il vescovo Horsley raccolse e pubblicò le opere di Newton nel 1779. L' « Arithmetica universalis » fu pubblicata da Whiston nel 1707.

Tali erano le produzioni principali di Newton intorno alle matematiche pure. Ed è certamente un fatto curioso e di molto interesse, come illustrativo dell'indole e del genio di Newton, che nessuna delle sue opere

sia stata pubblicata da lui volontariamente. Quando la sua giovanile composizione sulla « Quadratura delle curve » era stata lodata da Barrow, mostrata a Collins e da costui avidamente copiata, sebbene fosse sollecitato dal primo a pubblicarla, non potè essere indotto a consentirvi. E alludendo poscia a questa circostanza ed al successo parziale ottenuto da Mercatore in tali ricerche, egli dice: « Io sospettai che Mercatore avesse conosciuto l'estrazione delle radici, come pure la riduzione delle frazioni in serie per divisione: o almeno che altri, avendo imparato a far uso della divisione per quest'oggetto, scoprirebbe il rimanente prima che io fossi *vecchio abbastanza per comparire dinanzi il pubblico;* per la qual cosa cominciai d'allora in poi a riguardare queste ricerche con minor interesse ». Egli stesso ci dice di essere stato costretto a pubblicare le memorie che si trovano al fine della prima edizione dell' « Ottica », a cagione dei plagi fatti ai manoscritti che ne aveva prestato agli amici.

L' « Arithmetica universalis » che contiene la sostanza delle sue lezioni come professore Lucasio, fu ottenuta da Whiston senza consentimento dell'autore. Forse fu scritta alle lezioni e pubblicata surrettiziamente, con abuso di confidenza da non potersi giustificare. Questa singolare ripugnanza a render note le preziose verità che avea scoperte, è stata cagione di molte osservazioni e di molte congetture presso i suoi biografi; e diede luogo a parecchie supposizioni, le quali ci paiono affatto gratuite, poichè tutta la singolarità del caso si vuol riguardare, a quel che sembra, come una naturale conseguenza dell'indole peculiare di Newton.

Sin dal principio scorgiamo nella stessa costituzione

di questo grand'uomo una mente al sommo sensitiva, ed un'eccessiva timidità. Questo lo indusse a celarsi dagli sguardi del pubblico, ed a riservare le sue più pregevoli scoperte per la mera istruzione de'suoi amici. Abbiamo già veduto la stessa peculiarità manifestata per riguardo alle sue opere ottiche; e sembra ch'egli abbia veduto con dispiacere la pubblicazione di quelle scoperte, allorchè la sua tranquillità fu turbata dalle controversie che ne risultarono. Credette che la celebrità fosse acquistata a troppo caro prezzo, quando costava la tranquillità, e forse, se la fama personale fosse stato il solo oggetto da considerarsi, egli avrebbe ragionato saviamente; ma poichè il genere umano doveva sentire il benefizio della promulgazione delle sue scoperte, la questione prendeva certamente un altro aspetto. Ma egli è probabilmente più alla generale riserbatezza della sua indole, che ad un timore positivo di critiche controversie che si vuole attribuire la sua ritrosia a pubblicare le sue invenzioni matematiche. Una cosa è certa, che la controversia non era, in fatto, impedita da questa precauzione, se si vuol riguardare sotto questo aspetto; e certamente doveva essere cosa ovvia, che se Newton avèsse potuto prevedere le questioni che presto dovevano agitarsi, avrebbe, colla sola pubblicazione immediata di un ragguaglio esplicito del metodo delle flussioni, impedito affatto tutte quelle discussioni che cagionarono poscia tanti dispiaceri a lui stesso, ed una così infelice e così vergognosa ostilità fra i matematici di quel tempo. Ma si vuol confessare che niuna circostanza poteva allora far prevedere una tal disputa. Da ciò che si è già detto altrove, niente era più improbabile di questo, che i due gran rivali fossero per divenire ne-

mici, perchè ciascuno di essi candidamente ammetteva i giusti dritti dell'altro, e non sembrava che esistesse tra loro cagione di discordia o di gelosia.

Una cosa che tendeva a limitare le applicazioni e ad impedire i progressi del sistema delle flussioni, era la predilezione che Newton aveva pel metodo sintetico nello stabilire le sue proposizioni. Questo è evidente in tutta la quadratura delle curve, ed è mantenuto e difeso nel trattato sulle flussioni. Per metodo sintetico non intendiamo qui lo stile peculiare delle dimostrazioni geometriche, ma l'enunciazione dei risultamenti annunziati come proposizioni, ciascheduna provata su considerazioni indipendenti. Questo metodo può essere acconcio alla semplice comunicazione di verità elementari; ma ha questo difetto essenziale, che non presenta allo studente quei principii generali per cui le verità furono scoperte, o per mezzo dei quali può esser condotto alla scoperta di altre. Pare in fatto che Newton sia stato guidato nella sua scelta più da considerazioni di gusto che di utilità; poichè nelle « Flussioni » si esprime a questo modo: « Dopo che l'area di una curva è stata trovata e costrutta, dobbiamo fare in modo nella dimostrazione della costruzione, che, lasciando da parte per quanto si può ogni calcolo algebraico, il teorema sia ornato e fatto elegante, perchè sia degno dello sguardo del pubblico ». (§ 107). Di questi principii egli diede una bella applicazione pratica in quell'opera; ma checchè si pensi di questa preferenza astrattamente, essa non può sicuramente essere commendata per utilità; e senza dubbio lo spirito così istillato nella scuola matematica inglese ebbe per lungo tempo un pessimo effetto col reprimerne l'energia, e coll'impedire le applicazioni del calcolo e il progresso delle scoperte matematiche.

Qui dobbiamo brevemente dire alcuna cosa di quella modificazione dello stesso principio delle ragioni dei limiti che Newton abbracciò specialmente per riguardo a certi casi geometrici, sotto il nome di « prime ed ultime ragioni ». Egli ha pienamente ed elegantemente esposto questa dottrina nei lemmi, che formano l'introduzione al primo libro delle « *Principia* »; dove, riguardando a quelle investigazioni geometriche, che doveano seguire, egli stabilisce diverse verità per rispetto ai limiti delle aree poligone, alla ragione dei limiti fra l'arco e il suo seno e la tangente ecc., nelle quali cose tutte la verità sostanziale è, che queste quantità, quantunque perpetuamente varianti nella loro relazione, hanno tuttavia una relazione finita, che è il limite costante. E per evitare il tedio dell'antico metodo delle esaustioni, l'autore fa un'applicazione della sua altamente illustrativa idea del moto, immaginando che l'arco cresca o decresca, e parlando della ragione esistente fra le quantità come nel suo stato « nascente » od « evanescente ». Egli va maestrevolmente incontro ad alcune obbiezioni, che si potrebbero fare, ed è particolarmente cauto nell' insistere, che il vero senso si debba ristringere alla considerazione dell' attuale *limite* finito, nello stretto e semplice significato della parola in cui fu impiegata dagli antichi geometri.

Controversie intorno alle Flussioni

Nella breve discussione cui siamo necessariamente limitati in un saggio storico come questo, egli è evidentemente impossibile di dare un competente ragguaglio di soggetti quali sono queste ricerche analitiche.

Noi abbiamo soltanto tentato di presentare alcune osservazioni generali, per non essere accusati di non essere intelligibili nel riferire (ciò che il corso naturale del nostro soggetto ci obbliga di farè) i principali miglioramenti successivamente introdotti in questa parte di scienza cotanto importante, per aver somministrato, per così dire, lo stromento, coll'aiuto del quale si fecero le grandi scoperte in quasi tutte le altre parti, indipendentemente dal suo proprio ed intrinseco dritto alla pubblica attenzione. Rimane solamente intorno a questa divisione del nostro soggetto, di dare una brevissima notizia di due controversie che sorsero relativamente ad esso; ciascuna delle quali ottenne una considerevole notorietà per la celebrità delle persone interessate, e nate entrambe da cause affatto triviali, sebbene conducessero a conseguenza di non poca importanza per la scienza.

La prima di queste fu una discussione sulla priorità dovuta a Newton o a Leibnitz nell'invenzione del calcolo; questione per cui, siccome si è detto, sarebbe difficile di concepire un possibile pretesto. Tuttavia si provò tosto una specie di gelosia tra i matematici inglesi e quelli del continente, la quale, sebben priva di qualunque ragionevole fondamento, si valse della prima plausibile occasione per cambiarsi in aperta ostilità. Il calcolo differenziale si era così rapidamente sparso sul continente, e il metodo di Newton era così poco conosciuto, che non è sorprendente se in tutta Europa Leibnitz aveva acquistato fama di esserne il primo inventore. Gli amici di Newton sentirono che quest'idea era ingiusta verso il loro illustre maestro.

Nel 1699 Fatio de Duillier, matematico svizzero residente in Inghilterra, in una memoria letta dinanzi

la Società Reale, credette di dover introdurre (benchè non avesse gran connessione col soggetto) non solamente un'osservazione sulla priorità di Newton, ma un mal fondato sospetto che Leibnitz avesse da lui derivato la sua idea. A questo Leibnitz rispose con moderazione, affermando semplicemenle l'originalità della sua idea, ed ammettendo la priorità di Newton.

Nel 1705, un passo del giornale di Lipsia, dove si parlava della quadratura delle curve di Newton, sebbene a ciò necessariamente non si riferisse, fu interpretato come un' accusa di plagio verso di lui. Il dottor Keill si presentò tosto a difendèr Newton, ma invece di limitarsi semplicemente ai fatti, cosa che avrebbe posto fine alla questione, lo zelo lo trasportò a ripetere con acerbità di parole l' accusa contro Leibnitz, e a tentare di far vedere che la comunicazione fattagli da Newton avea potuto metterlo a parte dei principii del metodo. Leibnitz ne appellò alla Società Reale, e quel corpo nominò una commissione per esaminare la cosa. Questa compilò una relazione in generale accurata e giusta, ma che ommetteva una circostanza, vale a dire l'impossibilità in cui era Leibnitz di estrarre la scoperta di Newton dalla sua lettera, nella quale era espressamente nascosta sotto cifra. Quindi per non aver dimostrato l'impossibilità del plagio, si credette immediatamente che la sua possibilità fosse ammessa. Questa relazione insieme con tutto il carteggio fu pubblicata nel 1712 sotto il titolo di « Commercium Epistolicum ». Leibnitz, ferito da quest' idea, si lagnò che la relazione fosse ingiusta, e Bernoulli vi scrisse sopra un comento anonimo al tutto severo ed acerbo, il quale diede luogo a parecchie altre pubblicazioni non meno pungenti che assurde dai due lati, finchè il conflitto cominciò a pren-

dere un aspetto più razionale, quantunque non meno ostile di prima.

Era già prevalso l'uso di proporre nei pubblici giornali vari problemi, quasi prove di sapere ai matematici de'diversi paesi. Nel giornale di Lipsia Bernoulli aveva nel 1690 proposto il problema della natura della curva che descriverebbe una catena sospesa dai due capi; e ne erano state date soluzioni da Huygens, Leibnitz ed altri, che dimostravano la natura della curva sotto il nome di catenaria.

Un altro simile problema proposto nel 1697 si riferiva alla natura della linea, lungo la quale un corpo debbe discendere per andare da un punto a un altro (non perpendicolare sotto di esso) nel più breve tempo possibile. La questione appartiene ad una classe particolarmente difficile, ma fu risoluta da Newton, Leibnitz, i due Bernoulli e de l' Hôpital, e la curva fu mostrata essere la cicloide. Leibnitz la risolvette lo stesso giorno che gli fu mandata. La soluzione di Newton fu pubblicata senza nome; ma Bernoulli ne riconobbe tosto l'autore, sclamando « ex ungue leonem ».

Il problema delle traiezioni ortogone è un altro, dipendente dalle più alte parti dell'analisi, trattandosi di trovar una curva che tagli ad angoli retti un sistema intero di altre curve costrutte sotto date condizioni. La soluzione n'era nota a Bernoulli, ma Leibnitz lo propose nel 1716 per mettere alla prova i matematici inglesi. Newton lo ricevette nel dopo pranzo, e quantunque fosse stanco dei lavori della giornata, lo risolvette prima di sera.

Questa sorta di scaramucce intellettuali venne presto a mescolarsi con la controversia intorno all'origine delle flussioni. La soluzione delle traiezioni di Newton fu

criticata da Bernoulli. Brook Taylor la difese, ma conchiuse insolentemente e in modo da non potersi giustificare, accusando Bernoulli d'*ignoranza* nella sua critica. Bernoulli replicò a Taylor con molto calore, e questi sfidò tutto il continente, proponendo un problema di qualche difficoltà nel calcolo integrale. Sgraziatamente però una soluzione di tutta la classe di problemi cui apparteneva, era già stata data molto tempo prima da Bernoulli. Questa era un'umiliazione pei matematici inglesi, che tuttavia non gl'impedì lungamente di entrare nuovamente in campo; e Keill con zelo ed indiscrezione eguale propose il formidabile problema della resistenza dei fluidi, indirizzando personalmente la sua sfida a Bernoulli, il quale in breve rispose di esser pronto a dare una soluzione che offeriva di depositare nelle mani di un arbitro, purchè Keill vi depositasse pur anche la sua. A questa giusta proposizione Keill non fece mai alcuna risposta. Il suo antagonista per verità l' aveva più che sospettato di dimenticare che quando un uomo sfida un altro con un problema, dovrebbe esser capace di risolverlo egli stesso; quindi egli rivelò immediatamente la vera ragione della ritrosia di lui, esultando nello stesso tempo crudelmente contro di esso, e oltrepassando ogni limite di decenza negli insulti e nelle invettive.

La controversia fu tenuta viva da molti attacchi e da molte risposte di minor importanza che non appaiono degne di memoria. Ciò che abbiamo veduto è sufficiente a dare una deplorabile idea delle debolezze da cui non vanno esenti anche i più sublimi intelletti, e ci gode l'animo di abbandonare un così spiacevole soggetto. Sebbene la controversia non fu senza utili conseguenze, per aver dato origine alla discussione degli

accennati problemi; ma fu pure uno de' suoi effetti quello di alienare i matematici inglesi da quelli del continente ad un grado altamente pregiudizievole all'avanzamento della scienza in Inghilterra. Questo è tuttavia un soggetto che appartiene ad una futura parte della nostra storia. Adesso dobbiamo tornare alla data delle scoperte di Newton, ed accennare come nascesse un'altra controversia, nella quale il metodo delle flussioni doveva ancora essere involto, quantunque ella fosse di un carattere più razionale della precedente, essendo diretta a mettere in questione la validità dei suoi principii.

Una si gran rivoluzione nella scienza, come quella che operava la nuova analisi, non era da aspettarsi che si compiesse senz'opposizione. V'erá un gran numero di matematici in Europa che erano vincolati agli antichi metodi, molti dei quali per pregiudizio ed anche per incapacità divenivano formidabili nemici all'introduzione di una tanta innovazione. Ma è pur bello il vedere che fra i più vecchi dei matematici, alcuni dei più eminenti furono dei primi a scorgere il pregio ed a promuovere l'introduzione dei nuovi metodi. Fra questi niunó merita di essere nominato con maggior rispetto che Huygens, il quale (sebbene in età avanzata) fu pronto a volerne conoscere i principii, a vincerne le difficoltà, e ad insegnarne e a raccomandarne l'applicazione.

Non mancavano tuttavia gli opponenti: Nieuwentyt, naturalista olandese e scrittore di qualche merito, ma pochissimo versato nelle matematiche, portò il primo colpo al calcolo differenziale, opponendosi alla nozione delle quantità infinitamente piccole, in due memorie pubblicate nel 1695. Fu giustamente osservato di lui

che non era disposto a credere alla realtà di oggetti più piccoli di quelli mostratigli dal suo microscopio. Leibnitz, Herman e Bernoulli gli risposero.

Rolle era uomo di quell' amabil indole il cui massimo diletto consiste nello scoprir errori. Egli impiegò il suo acume matematico, che era considerevole, non ad assalire alcuno dei principii generali del calcolo, ma a cercare con incredibile diligenza una quantità di esempi particolari, nei quali sosteneva che le regole del calcolo conducevano ad inesatti risultamenti. Ma Varignon, Saurin e altri chiaramente provarono che gli errori erano tutti suoi e nascevano dalla falsa applicazione delle regole. Questa discussione fu portata dinanzi l'Accademia delle Scienze nel 1701.

L'abate Gallois si unì a Rolle in questa guerra, e tenne il campo dopo che l'altro si fu ritirato. Le sue obbiezioni provenivano da una troppo pregiudicata parzialità per l'antica geometria. E qui sembra che la controversia cessasse per allora, sebbene la vedremo risorgere in altro tempo.

Scoperte dinamiche di Newton

I miglioramenti da Newton introdotti nelle scienze della meccanica e della dinamica astrattamente, possono riguardarsi come affatto separati dall'applicazione che ne fece al gran problema delle forze attualmente in esercizio nei moti del sistema planetario.

Abbiamo già indicato i progressi fatti nella statica da Stevin, da Galileo e poscia da Wallis. I due primi, in fatto, generalizzarono la proprietà della leva, e mostrarono che un equilibrio ha luogo ogni qual volta

le somme dei *momenti* opposti sono eguali; intendendo per momento il prodotto della forza o del peso nella velocità del punto cui è applicato. Questo fu esteso molto più in là da Wallis, il quale nelle ricerche di cui abbiamo fatto menzione, raccolte nella sua « Meccanica » pubblicata nel 1669, fondò un intero sistema di statica sullo stesso principio.

Ai nomi di questi dobbiamo aggiungere quello di Varignon, il quale nel 1687 pubblicò il suo « Projet d'une nouvelle Mécanique », in cui ebbe il merito di derivare tutta la teoria dell' equilibrio delle potenze meccaniche dal solo principio della composizione delle forze.

Le « Principia » di Newton, pubblicate nello stesso anno (considerandole qui soltanto nelle loro parti astratte della meccanica e della dinamica) debbono senza dubbio essere riguardate sotto questo solo aspetto come una delle più straordinarie produzioni dell' umano ingegno. Esse operarono un' intera rivoluzione nelle scienze meccaniche. Nella parte introduttoria dell' opera si seguono gli stessi principii generali dell' equilibrio, del centro di gravità e delle potenze meccaniche, seguiti da Varignon e da Wallis; ma sono semplicemente indicati come introduttorii alle investigazioni dinamiche che vengono appresso.

In questo ramo importante, in cui i primi passi erano stati fatti da Galileo nell' esaminare il movimento dei proietti e dei gravi cadenti, Newton riduce a principii stabili le leggi più comprensive dalle quali tutto il sistema dipende. Questi ch' egli chiama gli « assiomi » della scienza (non attribuendovi necessariamente l' idea di verità per se stesse evidenti) sono le tre *leggi del moto*. Esse erano già state impiegate da scrittori pre-

cedenti, quantunque forse non mai esplicitamente proposte e distintamente provate come il fondamento di tutto il raziocinio susseguente. Non è molto che nacque una discussione intorno al preciso carattere di queste verità elementari, ed alla natura filosofica delle prove cui sono appoggiate; e vi è stata una differenza considerevole nella maniera di vedere la cosa tra gli scrittori inglesi e i francesi. In un'opera come questa non tenteremo certamente di entrare in simile soggetto. Osserveremo soltanto che le questioni insorte e i miglioramenti critici stati suggeriti nel modo di esporre questi primi principii, non intaccano menomamente la riputazione di Newton, poichè egli non gli enuncia con pretesa all'originalità, nè gl'importanti raziocini che fonda su di essi possono essere indeboliti dall'aspetto alquanto diverso in cui sono stati posteriormente riguardati.

Come corollario a queste leggi del moto, egli dà la dimostrazione della composizione delle forze che è in fatto il principio essenziale sul quale ogni sistema di raziocinio dinamico debbe procedere. Parleremo brevemente di questa dottrina fondamentale per conservare la serie de' raziocini coi quali le sue ulteriori conclusioni furono stabilite.

Secondo il modo di vedere di Newton, il quale (come la sua dichiarazione delle leggi del moto) è stato sottilmente esaminato dai matematici francesi, si suppone che un corpo abbia una forza impulsiva che agisca sopra di lui, per virtù della quale sola continuerebbe a muoversi uniformemente in linea retta, mentre nello stesso tempo un'altra forza agisce su di esso, la quale ad ogni momento del suo corso ha una tendenza eguale a tirarlo in una direzione inclinata alla prima a un

dato angolo. Per conseguenza non obbedisce intieramente nè all'uno nè all'altro impulso, ma prende un corso intermedio, chiamato il *risultante* dei due primi, e che è determinato dal tirare la diagonale del parallelogrammo, i due lati del quale rappresentano le due prime forze. La verità di questo è fatta dipendere dalle leggi del moto semplicemente, per virtù di cui il corpo conserva ciascuno de' suoi primi movimenti inalterati nella quantità, ed alla fine di un dato tempo si trova precisamente alla medesima distanza misurata su di una *parallela*, cui sarebbe giunto nella linea originaria, in virtù di una sola delle prime forze. Non vi può esser dubbio della verità del risultato; ma gli scrittori francesi seguono un modo diverso nel provarla.

Forze centrali

Egli è su questo semplice principio che Newton procede a fondare tutta quanta la teoria delle forze centrali; ed arriva a questa dottrina con una bellissima applicazione dell'antica idea dei limiti. Egli suppone un corpo lanciato in una data linea retta, come nel caso di cui si è testè parlato, ma che prenda un corso risultante dall'azione di una nuova forza. Alla fine di un dato tempo esso ha descritto la diagonale del parallelogrammo, costrutto come sopra con lati proporzionali a quelle due forze. Esso continuerebbe pertanto a muoversi nella diagonale. A questo punto sia ancora piegato da una nuova forza che gli faccia descrivere una nuova diagonale; dopo un altro intervallo abbia luogo una novella deflessione nello stesso modo, e così successivamente: allora se tutte le deflessioni saranno

volte verso la stessa parte, sarà ovvio che le diagonali successive formeranno i successivi lati di un poligono regolare o irregolare; e le forze che a ciascun punto cagionarono la deflessione, avranno direzioni tali che, se saranno prolungate, si taglieranno l' una l'altra a certi punti dentro il poligono. Esse potranno tagliarsi nel medesimo punto: e se così sarà, diverrà facile il dimostrare che, supponendo le porzioni di tempo eguali, i triangoli formati da queste linee così riunite, e dalle basi o lati, saranno tutti *di area eguale*. Quest'eguaglianza di aree, adunque, in tempi eguali, è prodotta quando un corpo descrive in tempi eguali i successivi lati di un poligono, in virtù di una forza impulsiva originale, la quale sola potrebbe spingerlo per sempre in una data linea retta, e dell'azione di un'altra forza che agisce ad intervalli eguali di tempi, e che ad ogni tempo cambia tanto il suo ammontare quanto la sua direzione, tutte le sue direzioni ai successivi intervalli convergendo ad un punto dentro il poligono.

Astrattamente questo sarebbe stato un bel teorema, ma Newton lo investigò per farlo servire ad un più alto uso, e col seguire la stessa idea sino al suo caso estremo, con una bella applicazione del principio di un limite (sebbene da lui rappresentato sotto una diversa forma di espressione) perviene a fare di questo teorema la base di tutto il sistema delle forze centrali.

Il *limite* di un tale *poligono* qual è quello che abbiamo descritto, sarebbe una *periferia curvilinea*; e il *limite* di un movimento uniformemente continuato lungo ciascuno dei lati, ma che cangiasse da una parte all'altra, sarebbe un movimento perpetuamente vario in una traccia curvilinea. Poche idee sono realmente più sem-

plici di questa, quando è spogliata dell'oscurità tecnica. Nel caso delle quantità finite e dell'azione finita, uniforme, possiamo assoggettare le forze ad un'estimazione matematica. Le relazioni che stabiliamo *rimangono inalterate* quando passiamo dalle quantità elementari al loro limite. Questa è la sola parte del raziocinio che presenti qualche sorta di difficoltà, e questo è ciò cui Newton ha abbondantemente provveduto, collo stabilire previamente quei vari casi di limiti che denominò « primi ed ultimi rapporti ». Così fu condotto alla dimostrazione del moto in un' orbita curvilinea, dentro la quale un certo punto era così situato, che essendo assegnate porzioni dell'orbita descritte in tempi eguali, quantunque queste porzioni medesime potessero essere assai ineguali, tuttavia linee o raggi da esse a quel punto intercetterebbero *settori od aree eguali*; ovvero, per dirlo in altri termini, un *raggio* supposto girare intorno a questo punto con la velocità variabile appartenente al corpo nell'orbita, *passerebbe sopra aree eguali in tempi eguali*. Il punto per rispetto al quale aveva luogo questa proprietà fu denominato *il centro della forza*. E siccome la curva formava il *limite* degl'incrementi rettilinei uniformemente descritti, così l'azione di una forza diretta a questo centro, ma che cangiasse d'intensità ad ogni punto successivo dell'orbita, era il *limite* delle successive forze ineguali operanti lungo ciascuna delle porzioni rettilinee.

In qualunque orbita poligona di questa fatta al fine di un lato qualunque, l'altro *lato* del parallelogrammo era la misura dell'intensità di quella parte della forza per cui il corpo tendeva al centro. Dai lemmi di Newton facilmente conseguitava che il limite di questa, in un'orbita curvilinea, misura l'ammontare di cui l'arco, al-

l'altra sua estremità, ha deviato dalla direzione della tangente, ovvero *la deflessione del corpo da un corso rettilineo*; e questo sarà evidentemente, a qualunque punto, la *misura dell'intensità* della forza centrale. Il limite dell'altro lato del parallelogrammo (che misura la forza impulsiva) è lo stesso di quello della *tangente* alla curva. Quindi la *ragione dei limiti* fra queste due forze è quella che determina la traccia curvilinea che il corpo sarà per seguire. Pare che dobbiamo riferire a qualche idea di questo genere l'espressione straordinaria di Aristotile già citata intorno alla causa del moto circolare.

Ciò che rimaneva a farsi era d'investigare le condizioni matematiche che darebbero questa determinazione in diversi casi; e qui fu che le maravigliose facoltà geometriche della mente di Newton si spiegarono in un grado straordinario. Egli procedette ad esaminare in prima alcuni casi semplici di moto curvilineo, e poscia i principii più generali che potrebbero applicarsi a qualunque specie di orbita. Tutto questo si vuol ricordare essere stata una specolazione interamente astratta, al tutto indipendente da alcuna cosa che attualmente esistesse in natura, ed appartenente soltanto ad un sistema di dinamica matematica. Tutto era una creazione originale di Newton. Egli fu autore della stessa idea per cui *il moto intorno a un centro* fu accuratamente concepito; ed indicò il principio della descrizione equabile delle aree come solo criterio intelligibile di una forza centrale, senza involvere alcuna fisica ipotesi o qualità occulta per dare un'idea dell'azione di una tal forza.

Un corpo adunque proiettò da qualche forza impulsiva originale, nella direzione di una data linea retta,

ma nello stesso tempo esposto all'azione di una forza centrale, non procederà nella direzione della tangente, nè cadrà direttamente nel centro, ma prenderà un corso curvilineo intermedio. La natura di questa curva dipende intieramente dalla ragione dei limiti, risultante da un paragone della forza impulsiva nella direzione della tangente con l'intensità della forza centrale. Qui Newton spiegò la ricchezza e la fertilità della sua invenzione geometrica, nel descrivere vari casi imaginabili e le forme delle orbite che ne risulterebbero, quando la forza fosse supposta variare secondo i diversi poteri della distanza dal centro. Qui egli adoperò nelle sue dinamiche investigazioni tutti quegli abbondanti tesori di verità geometriche, che dalle fatiche dei matematici erano stati per secoli accumulati. In particolare, le proprietà delle sezioni coniche le quali avevano tanto e, come è facile lo imaginarsi, così inutilmente occupato l'attenzione di tutti gli antichi geometri, furono allora messe in uso, e, distinte come quelle curve singolari sono per tante curiose qualità e per tante belle analogie, le applicazioni che se ne fecero, furono di una natura non mai prima imaginata anche nei più alti voli delle visioni platoniche, e le associarono a un vasto numero delle più sublimi verità fisiche. Per mezzo della più felice combinazione delle proprietà anticamente stabilite di quelle curve (e principalmente quelle dei « circoli di curvatura ») co' suoi metodi originali di ultimi rapporti, Newton pervenne a stabilire con la più incontrastabile evidenza il bello ed altamente importante teorema, che *un corpo lanciato in una linea retta, e soggetto all' azione di una forza centrale, si volgerà in alcuna delle sezioni*

coniche, se la forza varierà inversamente come il quadrato della distanza dal fuoco.

Quale delle sezioni coniche sia per essere, dipende dal valore attuale della relazione dei limiti della forza di proiezione nella direzione della tangente alla forza centripeta. Tale è il più importante teorema dinamico stabilito come base del sistema Newtoniano. Ma lo scopo delle « Principia » non è limitato a questo. L'illustre autore spinge il suo principio ad un gran numero di conseguenze. Egli rintraccia le leggi che, per conseguenza matematica, debbono regolare le velocità nelle orbite elittiche; i tempi periodici nei quali quelle orbite sono percorse; e stabilisce la notevole relazione, che i quadrati dei tempi periodici sono, come i cubi degli assi maggiori, la metà dei quali sono le distanze medie, come una conseguenza dinamica di una legge di forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Le immense ricchezze dell'ingegno dell' autore, sparse con profusione su di ogni pagina delle « Principia » forse più che qualunque altra circostanza, imprimeranno nella mente del lettore la vastità di quella potenza intellettuale che lo pose in grado non solamente di lottare con un soggetto così difficile, ma eziandio di scherzare, per così dire, con esso, e dilettarsi di uscire del più diretto sentiero che sarebbe bastato a condurlo alle conclusioni particolari che gli erano specialmente necessarie, per tener dietro ad innumerevoli soggetti collaterali che gli si presentavano per istrada. Ma per preziose che siano tutte queste specolazioni, egli è più che probabile che la loro introduzione ebbe per effetto di grandemente limitare il numero dei lettori delle « Principia ». Esse opprimono certamente e confondono la mente di chi per la prima

volta s'accosta allo studio di un soggetto abbastanza difficile in se stesso, quando si segue soltanto nella linea diretta delle sue più importanti applicazioni.

Ma oltre la considerazione astratta delle forze centrali, l'autore esamina il curioso ed importante soggetto delle *attrazioni* che porzioni di materia possono credersi esercitare l'una sull'altra; e mostra che se picciole particelle, attraenti secondo la legge del quadrato inverso della distanza, saranno aggregate in masse sferiche; quelle sfere saranno esse medesime soggette alla stessa legge come le particelle che le compongono; che l'attrazione sarebbe diretta ai centri delle sfere, e proporzionale alla quantità di materia in esse contenuta, divisa dal quadrato della distanza dai centri.

Passando su di un immenso numero di altre ricerche, che sarebbe impossibile di pur enumerare in un saggio come questo (inchiuse quelle sui moti dei corpi in *mezzi* resistenti, e vari punti d'idrostatica), faremo semplicemente allusione ad un' investigazione dipendente dalle attrazioni dei corpi, e relativa agli effetti che avrebbero luogo su molecole sommamente minute, lanciate con una velocità inconcepibilmente grande, e che entrassero in un *mezzo* nel quale fossero soggette a nuove attrazioni, — investigazione che, in fatto, somministra il principio di quella spiegazione ipotetica dei *fenomeni della luce*, che risulta dal supporla consistente in una tale emissione di particelle materiali dai corpi luminosi. Abbiamo già toccato di volo questa ipotesi, e prenderemo qui l'opportunità di notare che non appare in nessun luogo averla Newton riguardata altramente che come una mera ipotesi. E quantunque sia spesso stata considerata come la teo-

ria Newtoniana della luce, è tuttavia più che probabile che Newton medesimo fosse più inclinato all'ipotesi delle ondulazioni (1). Nell' « Ottica » egli raccomanda cautamente al lettore di non dare alcuna concezione fisica alla teoria degli *accessi*. Egli impiegò certamente la teoria molecolare all' oggetto di calcolare i risultati matematicamente, e in ispezial modo di stabilire la legge della refrazione. Ma, siccome il professore Airey ha osservato, qui vi era una sufficiente ragione di farlo; per la circostanza che aveva già i metodi matematici belli e stabiliti: mentre nella teoria delle ondulazioni il primo principio di tali investigazioni era ancora sconosciuto (2).

Sistema Newtoniano del mondo
Storia della scoperta

Nel 1666 la peste essendo scoppiata a Cambridge, Newton si ritirò in campagna, e ridottosi a Woolsthorpe, vi si dedicò a contemplazioni filosofiche. Siccome è cosa caratteristica delle menti volgari il dare una grandissima importanza a tutto ciò che esce dal comune ed è sorprendente e maraviglioso, sebbene alle volte non meriti un'attenzione particolare, così è segno di una mente non ordinaria il vedere nelle cose che comunemente occorrono quanto vi sia da imparare, e il dedurre riflessioni importanti da circostanze che l' universalità degli uomini lasciano trascorrere senza badarvi. Gli uomini erano stati avvezzi da secoli

(1) Vedi Memoria del Dr. Young nelle Trans. fil. 1802.
(2) Giornale delle Scienze, — giugno, 1833.

a vedere il fatto che tutti i corpi cadono direttamente a terra al momento che loro manca il sostegno. Ma niuno vide mai in ciò nulla di maraviglioso. A Newton tuttavia il cadere, per così dire, spontaneo di alcune mele dagli alberi di un orto a Woolsthorpe, diede un soggetto di riflessione, e lo trasse in una serie di profondi pensieri, dai quali venne finalmente a risultare niente meno che la compiuta scoperta del sistema del mondo.

Questo potere o forza, osservò egli, si stende a qualche distanza dalla superficie della terra; esiste sulla cima delle più alte montagne; si riconosce nelle più alte regioni dell'atmosfera; non potrebbe dunque giungere sino alla luna? Inoltre, nelle brevi distanze cui l'osservazione si stende presso la superficie della terra, questa forza non diminuisce sensibilmente mentre ci allontaniamo dalla terra; ma non diminuirà essa a distanze maggiori? E se ciò accade, secondo qual legge diminuirà? Supponendo, come in alcuni casi delle specolazioni dinamiche di cui si era occupato, che diminuisse come il quadrato della distanza dal centro della terra, si potrebbe calcolare a qual grado la sua intensità sarebbe diminuita alla luna, se la distanza di questa fosse conosciuta. E certamente il calcolo potrebbe essere spinto più oltre e il risultamento essere sottoposto alla prova dell'osservazione. Perciocchè l'intensità attuale della gravità alla superficie della terra è stimata dallo spazio per cui un corpo cade in un minuto secondo. Riducendo questo, nella ragione dei quadrati delle distanze dal centro della terra, avremmo lo spazio per cui la luna dovrebbe cadere verso la terra in un minuto secondo, se non fosse impedita da alcun'altra causa. Ma come verificar questo, poichè

un tale sperimento non può esser fatto sulla luna? Newton vide che questo sperimento ci è, in fatto, costantemente sotto gli occhi. La luna si muove in un'orbita le cui dimensioni erano state riconosciute dagli astronomi. Conseguentemente la *velocità* con cui si muove era nota. Ma questa velocità impressa su di un tal corpo debbe, se nulla interviene, portarla in linea retta a traverso lo spazio. Il moto attuale della luna è in un'orbita intorno alla terra; ed in qualunque data porzione, od arco, di quest'orbita, la quantità di cui alla fine di un minuto secondo, per esempio, la luna ha deviato dalla direzione della linea retta che è una tangente all'orbita al principio di quel secondo, è conosciuta. Questo è pertanto lo spazio per cui in un minuto secondo la luna va attualmente cadendo verso la terra.

Adunque in questo calcolo, Newton aveva soltanto a prendere la distanza della luna dal centro della terra, e la distanza della superficie dal centro, vale a dire il raggio della terra; e, quadrando questi numeri, la proporzione inversa sarebbe quella degli spazi percorsi cadendo, in un minuto secondo, dalla luna e da un corpo alla superficie della terra. Se dunque questo risultamento calcolato corrispondeva col risultamento osservato, la sua congettura veniva ad essere verificata, e la medesima forza di gravità che fa cadere i corpi presso la terra, sarebbe quella che fa cadere la luna, vale a dire la fa deviare da un corso rettilineo, e descrivere la sua orbita intorno alla terra. In questo calcolo Newton prese per raggio della terra quel valore che risultava dal misuramento della lunghezza di un grado, secondo la determinazione di Norwood e di altri, di cui si è parlato, che era la migliore che si conoscesse

a quel tempo. Il risultato del calcolo *non riempiè* l'aspettazione di Newton. Quindi, con vero amore filosofico della verità, egli modificò la sua supposizione per metterla d'accordo col risultato; e conchiuse che, sebbene la gravitazione è in parte la causa del movimento della luna, tuttavia qualche altra causa non ancor nota cospira con essa a produrre l'effetto.

Al suo ritorno a Cambridge, la sua attenzione fu, come abbiamo già veduto, pienamente rivolta ad altri soggetti, e non avendo portato la sua specolazione sulla gravità ad alcun punto soddisfacente, egli nascose cautamente le sue idee, e probabilmente per qualche tempo non ne fece più l'oggetto de' suoi pensieri.

Intanto abbiamo già indicato come parecchi filosofi e specialmente Hooke si fossero accostati alla teoria della gravitazione. Per le specolazioni di quest'uomo eminente (allora segretario della Società Reale) l'attenzione di Newton fu richiamata a questo soggetto. Nel 1679, Newton gl'indirizzò una lettera nella quale, in risposta ad alcune domande proposte dalla Società, suggerì che se la terra era veramente in moto, si riconoscerebbe dalla circostanza, che un corpo lasciato cadere da una grand' altezza (poichè in virtù della sua elevazione parteciperebbe ad una velocità maggiore di quella dei corpi alla superficie) non cadrebbe esattamente in una linea perpendicolare ma devierebbe verso levante. Hooke prese ad esaminare la cosa tanto cogli sperimenti quanto in teoria. Egli verificò il fatto e perfezionò la teoria dimostrando che la deviazione doveva aver luogo alquanto all'ostro-levante, la direzione della gravità essendo (tranne all'equatore) obbliqua all'asse di rotazione della terra. La discussione di questo soggetto condusse al-

l'altra questione, quale sarebbe *la linea* in cui il corpo discenderebbe. Sembra che Newton inferisse dover essere una specie di spirale, per cagione della resistenza dell' aria. Hooke allegava che nel vacuo dovrebbe essere una porzione di ellisse, *ma non diede di questo nè ragione nè prova.* Nè potè darla in appresso quando fu caldamente sollecitato da Halley e da Wren di dare una dimostrazione. Egli era intorno a questo tempo che le sue altre specolazioni, già altrove accennate, sulla gravità, ecc., venivano comunicate alla Società Reale. È probabile che allora Newton fosse pervenuto a buon termine nell' investigare alcuni di quei problemi dinamici riguardanti il moto elittico, di cui abbiamo fatto cenno. Tuttavia queste erano semplici specolazioni astratte, sublimi esercizi di un genio matematico di primo ordine, ma che, per quanto appariva, non trovavano applicazioni nella natura; vale a dire sin dove l'accuratezza dell' osservazione era giunta.

Ma da che cosa dipendeva l'insufficienza del risultamento calcolato di Newton? I valori numerici di cui si era valso non potevano essi essere inesatti? L'orbita e la distanza della luna erano così bene accertate dai lunghi e continui lavori degli astronomi, che quanto ad esse non v'era gran fatto da dubitare. Non si poteva dire lo stesso della grandezza della terra. Abbiamo già veduto quanto fosse lento il progresso verso l'accuratezza, nell'ottenere questo risultamento dalla misura di archi del meridiano. La determinazione più accurata di Picard era allora stata eseguita, e il suo recente risultamento divenne il soggetto di una discussione in un'adunanza della Società, nel mese di giugno 1682. Newton vi assisteva e naturalmente pro-

vava un interesse nella discussione di cui niuna delle persone presenti poteva avere il menomo sospetto. Presa nota del valore del raggio della terra dato da Picard, se ne tornò a casa in fretta, ed avendo sostituito questo numero nella sua prima proporzione, e proceduto alquanto nel calcolo, non lo potè proseguire per la grande agitazione in lui prodotta dall'aspettato risultamento. Egli pregò un amico di terminarlo per lui, e il risultato fu un perfetto accordo della forza che agisce sulla luna, con la forza di gravità alla superficie della terra diminuita nell' esatta ragione dei quadrati delle distanze.

Idea generale del sistema

Questo gran risultato fu la chiave di tutto il meccanismo del sistema planetario. Newton si dedicò allora a sviluppare le idee che questa conclusione suggeriva, connettendola con le deduzioni che aveva già ricavate relativamente alle leggi dinamiche delle forze centrali. Le grandi leggi induttive di Keplero avevano dimostrato che, almeno ad un alto grado di esattezza, fra le distanze e i periodi di tutti i pianeti, le forme delle loro orbite e la equabile descrizione di aree, hanno luogo quelle relazioni che, su principii dinamici astratti, dovrebbero appartenere a corpi liberamente giranti intorno a un centro comune di forza, allontanandosi dal quale la diminuzione della forza segue la ragione inversa dei quadrati delle distanze. Questo accordo era mostrato nel sistema dei pianeti primari intorno al sole, ed anche più palpabilmente nei piccioli sistemi dei satelliti intorno a Giove e a Sa-

turno, e finalmente nel moto della luna intorno alla terra. Quest' ultimo caso servì in fatto di guida per tutti gli altri. La descrizione equabile di aree, siccome si è osservato, era la prova o l'indice di un centro di forza. Ma questo centro poteva essere un punto nello spazio. Nel caso della terra e della luna, il centro di forza era al centro della terra, e quella particolare proprietà fisica che troviamo appartenere a particelle della materia sulla superficie della terra, e che chiamiamo gravità o peso, fu provata essere la stessissima che agisce sulla luna. La sua identità fu definita dall' attuale diminuzione osservata della sua intensità di mano in mano che si ascende nell' atmosfera, e dal suo preciso accordo con la forza diminuita con cui si provava agire sulla luna. Agisce ella adunque costantemente, domandava Newton, fra una particella e l'altra della materia in tutto l'universo? Havvi dunque fra esse (senza alcuna fisica ipotesi intorno al *modus operandi*) una vera tendenza ad avvicinarsi l' una all'altra, con un'intensità inversamente come il quadrato della distanza attualmente esistente ed operante in tutto il sistema planetario? A questa domanda ha risposto l'accumulata testimonianza degli osservati fenomeni, quali furono esaminati da Newton e dai suoi successori, sino al giorno presente. La forza dell'argomento dipende dalle prove *collettive* che tutti i fatti, nelle loro varie maniere, somministrano alla verità del gran principio di gravitazione.

In un sistema di corpi, connessi da questa sorta d'influenza attrattiva, e giranti intorno al loro comune centro di gravità, se un corpo sarà considerevolmente più grande dell'altro, il centro comune di gravità potrebbe cadere dentro la massa del corpo maggiore,

ed essere anche sensibilmente situato nel suo centro. Così il centro della terra fu veduto essere ad un tempo situato nel centro di forza dell'orbita lunare, e sorgente attuale della forza fisica di gravitazione. Nello stesso modo conseguitava che Giove e Saturno erano parimente sorgenti attuali d'influenza gravitante ai loro satelliti, come pure erano situati nei centri di forza delle loro orbite. Adunque nella stessa maniera il centro del sole, per virtù dell'osservanza generale della medesima legge dei quadrati inversi delle distanze, era la sorgente d'influenza gravitante a tutti i pianeti, come pure il punto nello spazio che la descrizione equabile di aree, in tutte le loro orbite, indicava come il centro di forza. Fra le varie rimarchevoli applicazioni che Newton fece di questa verità, non ve n'ha forse alcuna che a prima vista sia più sorprendente, e sembri anche più incredibile, ad una persona non istruita del soggetto, quanto la determinazione delle attuali densità, o gravità specifiche della materia di cui i vari pianeti sono composti. Tuttavia il principio sul quale sono trovate, non è altro fuorchè quello per cui è verificata l'intensità della gravitazione della terra sulla luna. La gravità non è altra cosa che il peso proporzionale alla quantità della materia, e la densità è misurata dalla quantità della materia e dalla grandezza.

Ma questo medesimo principio della mutua attrazione fra tutte le particelle della materia in tutto l'universo, e la legge di gravitazione inversamente come il quadrato della distanza e direttamente proporzionale alla massa o quantità di materia, si trovò essere applicabile a una classe diversa di fenomeni, e suscettibile di prova per mezzo di altri fatti nel sistema del mondo,

di cui somministravano una spiegazione. Tali erano le maree, i cui fatti generali furono investigati da Newton ad un grado sufficiente per dimostrare almeno l'applicabilità generale de' suoi principii. Egli mostrò esser quelle dovute all'azione unita del sole e della luna, e stimò persino l'ammontare cui la marea dovrebbe innalzarsi secondo la teoria, supponendone il corso non interrotto da continenti, e la profondità uniforme. Nessuna teoria può certamente andar perfettamente d'accordo con fatti modificati da circostanze cotanto diverse quanto i casi attuali sono da queste supposizioni: ma v'è tuttavia una concordanza assai prossima fra il risultamento di Newton e l'altezza media della marea nel grand'Oceano.

Le acque del mare avendo un moto libero, che non hanno le parti solide del globo, possono obbedire all'impulso di attrazione, sino a un certo punto limitato dalla loro gravitazione terrestre. Giusta le posizioni relative dei due luminari, l'effetto risultante delle loro due attrazioni, insieme cospiranti od opposte, produce un maggiore o minore innalzamento nelle acque, secondo che ciascuna porzione viene successivamente sotto la sua influenza; ed un innalzamento corrispondente al punto opposto, poichè l'acqua da quel lato essendo più lontana dal sole o dalla luna, è meno attratta che la terra, la quale viene, per così dire, ad essere strappata da quella. L'azione del sole è picciolissima, paragonata con quella della luna, quindi l'alta marea occorre quasi esattamente allorchè la luna giunge al meridiano. Essa ha la medesima altezza allorchè il sole, la luna e la terra sono sulla stessa linea; e questa, sia che i pianeti siano in congiunzione o in opposizione, si chiama la gran marea. L'azione è mi-

nima quando le direzioni del sole e della luna sono ad angoli retti; questa è la marea bassa. In essa, ovvero alle *quadrature*, le maree solari e lunari sono opposte, vale a dire che l'innalzamento della solare segue nello stesso tempo che l'abbassamento della lunare, e reciprocamente; cosicchè la marea attuale è la differenza delle due; mentre ne' casi di opposizione e di congiunzione ne è la somma.

Un altro soggetto importante, in cui il principio della gravitazione fu trovato aver parte, si fu la figura della terra. La forza dell'attrazione mutua aggregherebbe insieme le parti della materia in una forma sferica perfetta. Ma se si dà un movimento rotatorio a questa sfera, ne verrà per conseguenza ovvia che, — se le sue parti avranno una qualche consistenza sufficientemente cedente per darvi luogo — la regione equatoriale si spingerà in fuori, le parti polari diverranno stiacciate e il tutto assumerà la figura di una sferoide piatta ne' poli. Newton non solamente stabilì questa illazione, ma procurò di stimare quale ne sarebbe l'ammontare sotto date circostanze. Egli fece questo mediante un' ingegnosissima idea, che fu quella d'imaginare un tubo o canale che dal polo giungesse sino al centro della terra, e quindi si prolungasse ad angolo retto dal centro all'equatore, cosicchè le acque polari e le equatoriali liberamente comunicassero insieme per via di questo. L'acqua in un simil canale debb'essere in equilibrio; ovvero il peso del fluido nel ramo più breve debbe essere eguale a quello del più lungo. Prendendo pertanto in considerazione l'effetto della forza centrifuga e le altre più complicate condizioni che erano introdotte dalla forma sferoidale, Newton calcolò quali dovrebbero essere le lunghezze

rispettive dei canali, ovvero la proporzione del raggio polare della terra all'equatoriale. In questo calcolo si suppone che la terra sia omogenea; e sebbene Newton fosse obbligato a supplire alcuni dati del calcolo con supposizioni che furono poscia trovate non essere affatto esatte, tuttavia in generale le investigazioni moderne danno un risultamento che differisce pochissimo dal suo, il quale dà la proporzione di 230 a 229.

Tuttavia non v'erano ancora *misuramenti* dai quali si potesse ricavare la menoma idea di alcuna deviazione di questa fatta dalla supposta sfericità perfetta nella figura della terra. Ma vi erano certi fatti non molto prima scoperti, i quali, sebbene non apparissero alla generalità degli astronomi avere alcuna relazione ad un tale soggetto, tuttavia vi furono immediatamente connessi nella mente di Newton.

Dalla figura sferoidale seguiva che l'intensità della gravità sarebbe diversa a diverse parti della superficie; e decrescerebbe, andando dal polo all'equatore, in proporzione al quadrato del seno della latitudine. Le vibrazioni di un pendolo dipendono interamente dalla forza di gravità: quindi lo stesso pendolo presso l'equatore dovrebbe vibrare più lentamente che in più alte latitudini. Abbiamo già veduto che questo era precisamente il fatto che era stato osservato da Richer, Varin e Des Hayes, ed aveva cagionato tanta maraviglia.

Un'altra investigazione, strettamente connessa con questo fatto, mostra forse più chiaramente ancora la sorprendente forza d'ingegno di cui Newton era dotato per impadronirsi di remote analogie e per applicare al medesimo soggetto fatti ed argomenti apparentemente di un carattere al tutto dissimili.

Abbiamo veduto altrove che le successive osservazioni degli astronomi avevano rivelato il fatto, che il punto equinoziale, o l' intersezione del piano dell'equatore della terra con quello della sua orbita, va costantemente, ma lentamente, cambiando la sua posizione e retrogradando nell' ordine del zodiaco. Questo fu chiamato la precessione degli equinozi, e l'ammontare annuo n'è stato determinato a circa cinquanta minuti secondi.

Ma come si poteva connetter questa cosa con la gravitazione? Newton vi rispose col mostrare non solamente il modo in cui questo era prodotto, ma col calcolarne l'ammontare secondo le note leggi di gravità, e la concordanza di quello con queste venne a somministrare una prova novella della loro verità. Se la terra fosse una sfera, diceva Newton, potrebbe essere in qualunque modo inclinata, e nessun' azione di gravitazione ne altererebbe l' inclinazione. Se poi fosse sferoidale ed *in riposo*, col suo equatore inclinato al piano dell'orbita, l'attrazione del sole sui punti della protuberanza equatoriale lo farebbero calar giù nel piano dell'orbita. Che se fosse in rotazione diurna, l'effetto di quest'attrazione sarebbe insensibilmente picciolo nel diminuire l'obbliquità, ma sarebbe causa che il punto dell' intersezione lentamente si trasferisse in una direzione opposta a quella della rotazione. Il raziocinio meccanico è alquanto sottile e forse tale da non potersi agevolmente rendere intelligibile senza entrare in più minuti particolari che non abbiam fatto. L' attrazione della luna doveva pure calcolarsi come quella del sole.

Per via d' illustrazione abbiamo qui parlato di semplici orbite elittiche, e dell' osservanza delle leggi di

Keplero come esattamente vere. Ma per lo stesso principio di attrazione, per cui, in generale, si vogliono tener per ferme, ne segue che siccome tutti i diversi corpi del sistema eserciterebbero una maggiore o minore attrazione l'uno sull'altro, l'*esatto* adempimento di queste condizioni debb'essere sino a un certo grado turbato. Siccome per altro l'osservazione indica che la coincidenza è quasi al tutto esatta, ne viene che l'ammontare di queste perturbazioni è picciolissimo. Newton riconobbe l'esistenza di una tale perturbazione; ma appare che relativamente ai pianeti egli l'imaginò essere così picciola, che la sua considerazione potrebbe in generale essere con sicurezza trascurata, tranne forse per riguardo a Giove e a Saturno quando sono presso alla loro congiunzione (1). Per quanto è della luna egli vide che l'ammontare ne sarebbe molto più grande. L'osservanza adunque delle leggi di Keplero dava una prova generale e certa della verità del principio di gravitazione. Ma se era *perfettamente esatta*, il principio non poteva esser vero. L'esistenza di certe deviazioni era assolutamente necessaria per provare il sistema. Quindi se queste deviazioni avessero potuto calcolarsi giusta la teoria, e se i risultamenti fossero trovati concordare con l'osservazione, si verrebbe ad avere la prova più perfetta e più soddisfacente. Ma questo, come si può supporre, era un campo di ricerche del genere più esteso e più imbarazzante: i diversi sentieri d'investigazione da seguirsi erano avvolti nella massima confusione, e i calcoli erano della più difficile natura. Newton tuttavia trovò il mezzo di vincere queste difficoltà ad un grado suf-

(1) Principia, iii, 5.

ficiente per poter proseguire con buon successo l'investigazione dei casi più importanti. Questi furono principalmente le ineguaglianze del movimento della luna, alcune delle quali erano di bastante ammontare da essere state osservate dagli antichi astronomi (siccome abbiamo veduto) e che erano già accertate con considerevole accuratezza. I maggiori fenomeni adunque dei moti planetari costituivano una classe delle prove della teoria di Newton. Ma queste non sarebbero state nè compiute nè soddisfacenti senza quelle del secondo genere derivato dalla teoria delle « perturbazioni » siccome sono chiamate. Di queste le ineguaglianze lunari formavano la porzione più cospicua, e che grandemente occupò l'attenzione di Newton. È vero che l'investigazione del sistema planetario viene ad essere così assai intricata ed avvolta in gravi difficoltà, cosa che non avverrebbe se fosse ristretta ad un movimento elittico esatto; e vi sono probabilmente molti cui la semplicità delle assolute orbite elittiche sarebbe la più potente delle prove, ma che abbandonerebbero con impazienza le laboriose ricerche richieste dalla teoria delle perturbazioni. Poche di queste per altra parte sono di sufficiente grandezza perchè ad un intelletto ordinario appaiano degne della fatica che vi si impiega attorno; ciò non di meno dobbiamo essere persuasi, che la verità di tutto il sistema essenzialmente dipende dalla loro felice dichiarazione.

Oltre alla forza della terra, o, per dir meglio, della gravitazione mutua della luna e della terra, la luna è soggetta all'azione del sole; e la stessa forza che era bastante a piegare il corso della terra in un'ellisse, non poteva non avere un effetto sensibile sull'orbita lunare. Newton adunque passò a stimare la differenza

delle forze della terra e del sole che agiscono sul movimento della luna. Questa investigazione, e quelle che vi sono connesse (le quali collettivamente sono chiamate « Teoria lunare ») le deviazioni dalla legge regolare di velocità che appartiene a un'orbita elittica; la retrogradazione dei nodi dell'orbita della luna (ovvero la intersezione del suo piano con quello della terra); il decrescimento del moto angolare e della gravità della luna, furono i punti che Newton ha felicemente investigati. Per riguardo ad alcuni altri, molti dei dati da una parte erano lungi dall'essere perfettamente determinati, e dall'altra i metodi di analisi non erano ancora abbastanza estesi perchè fossero atti a così dilicate indagini. Le fatiche di Newton su questi punti erano pertanto inevitabilmente tali da lasciar molto che fare a' suoi successori, per portarle ad una forma più compiuta ed esatta. Ciò non pertanto anche con queste necessarie imperfezioni, i suoi risultamenti debbono essere riguardati come maravigliose prove di quella sagacità intuitiva che, a dispetto di queste avverse circostanze, lo pose in grado di trovare e di seguire il filo che in mezzo a tutte le difficoltà lo portò a qualche conclusione non mai molto lontana dalla verità.

Dopo che tutto ciò che si riferiva ai movimenti della terra, della luna e degli altri pianeti era stato felicemente investigato, vi rimaneva ancora una classe importante e assai notevole di fenomeni, vale a dire l'apparenza ed i movimenti delle *comete*. Abbiamo già altrove osservato che questi corpi apparentemente singolari ed anomali erano già stati, dalle osservazioni di Galileo e di Cassini, innalzati dalla condizione di meteore generate nella nostra atmosfera, in cui gli

antichi gli avevano posti, a quella di corpi celesti che si muovono nell' immensità dello spazio. Parecchie congetture erano già state fatte intorno alla natura del loro corso. Hevelius aveva stabilito il fatto che la loro linea di movimento è più curva in alcune parti del loro corso che in altre; ed aveva eziandio suggerito che somigliava a una *parabola* avente il vertice al punto in cui la cometa si approssimava maggiormente al sole.

Newton seguendo questo cenno vi scorse un semplice caso della legge di gravitazione. La natura di quella forza potrebbe far muovere un corpo in una parabola, purchè le intensità della centrale ed originale forza di proiezione fossero acconciamente distribuite. Ovvero potrebbero essere così fattamente adattate da farlo muovere in un' ellisse di grandissima eccentricità; in modo, per esempio, che la parte la quale entrasse nel nostro sistema differisse appena sensibilmente da una parabola. Il lettore non avrà difficoltà a concepir questo, purchè attenda a ciò che abbiamo osservato in un'altra parte della nostra storia, relativamente al modo di descrivere le sezioni coniche. L'osservazione confermerebbe ella adunque accuratamente l' idea di tali orbite? Newton mostrò coll'esempio di precise osservazioni fatte sulla bella cometa del 1680, che questo accordo era strettissimo. Le osservazioni sulla posizione della cometa s'accordavano con la forma di un'orbita parabolica, e la ragione del suo movimento con la legge della descrizione equabile di aree. V' hanno comete che penetrano nel nostro sistema da tutte le parti del cielo e da distanze inconcepibilmente grandi nelle profondità dello spazio. Quindi la gravitazione si stende in tutte le direzioni, e a di-

stanze sconosciute e inconcepibilmente grandi dal centro del nostro mondo.

Abbiamo così rapidamente scorso i punti principali delle investigazioni di Newton, le quali stabiliscono il gran sistema del mondo, sotto un punto di vista collettivo, siccome ci sono presentate nella sua immortale opera delle « Principia ». Nel terminare adunque il nostro quadro, non dobbiamo ommettere di accennare che dopo di aver dato un'elaborata esposizione del meccanismo del cielo che costituisce il terzo libro; dopo quel bello sviluppo dell'intero sistema di forze che guidano e modificano le rivoluzioni dei pianeti primari e secondari, Newton conchiude l'opera con una sublime applicazione degna delle sue parti precedenti, nella quale deduce, argomentando in linea diretta dalle leggi dei fenomeni materiali, le prove dell'esistenza della Prima Gran Causa, e le testimonianze delle perfezioni divine.

Nella narrazione che abbiamo fatta del progresso delle investigazioni nelle varie parti di scienza sulle quali le scoperte di Newton sparsero una sì nuova e sì splendida luce, abbiamo chiaramente indicato a che punto le fatiche dei precedenti filosofi fossero riuscite vane; come pure quali fossero le cose precise di cui avevano arricchito la scienza, ed a che grado avessero, ciascheduno per la sua parte, contribuito alla grande opera che era riservato a Newton di compiere.

I metodi matematici d'investigazione erano stati, in qualche parte, preparati dai precursori immediati di Newton, e le verità geometriche che formano l'immobile fondamento del tutto, erano state stabilite dagli antichi. Ma le scoperte di Platone, Euclide ed Apollonio, e le investigazioni di Keplero, Wallis e

Barrow mancavano di principio che le connettesse, finchè non fu somministrato nei potenti metodi creati dalla mente maestra di Newton.

Le verità dinamiche e meccaniche rivelate da Archimede e da Galileo; le leggi di movimento e di forza raccolte da Wren e da Huygens; le idee di attrazione spiegate da Hooke, erano state messe insieme, ma non ancora ridotte ad una connessione sistematica.

I fenomeni del cielo, trasmessici sin dall' infanzia del mondo, erano stati richiamati a certe leggi, e l'ordine era stato ricavato da una confusione apparente per mezzo dei lavori successivi degli astronomi; la grandezza della terra era stata misurata, e il calcolo era stato agevolato dai logaritmi.

Il telescopio nelle mani di Galileo aveva assimilato i pianeti alla terra e posto la terra nel numero dei pianeti. I piccioli sistemi intorno a Giove e a Saturno avevano presentato le più sorprendenti analogie; e soprattutto la maravigliosa armonia che si scorge in tutti i movimenti del nostro sistema, spiegata nella costante osservanza di quelle singolari proporzioni trovate da Keplero, ed estese da successivi osservatori, formava una massa di verità non meno pregevoli ed importanti che misteriose.

Ma questi gran fatti e queste relazioni del mondo planetario non erano collegati con le leggi dinamiche; nè si era ancora avuto ricorso alle verità matematiche per combinarli nei loro luoghi.

Così i materiali erano provveduti da tutte le parti, ma mancava loro l'ordine e la connessione. I solidi fondamenti erano somministrati da uno, i ricchi e finiti lavori da un altro, ma mancava l'ingegno dell'architetto per disporre e combinar tutto in un ben com-

partito edifizio. Le pietre erano state scavate nelle montagne; Iram aveva dato il cedro, e Davide aveva provveduto il bronzo e l'oro; mancava Salomone per ideare ed innalzare l'edifizio. Egli lo eresse e lo consacrò come tempio al Signore.

Stile e metodo delle « Principia »

Per riguardo allo stile ed alla maniera in cui queste inestimabili ricerche ci sono dal loro autore presentate, sembra fuori di dubbio che, sebbene egli abbia in tutto e per tutto fatto uso del linguaggio e del metodo dell'antica geometria, scostandosene soltanto là dove la natura delle cose assolutamente ve lo costringeva, tuttavia le investigazioni furono originalmente fatte secondo un metodo assai differente da quello in cui sono espresse nelle « Principia ». Non si può dubitare che i risultamenti furono prima ottenuti per mezzo del calcolo delle flussioni, e che poscia le prove sintetiche ne furono inventate con quella facilità che tanto caratterizzava l'ingegno di Newton.

Che la cosa sia così avvenuta, se ne ricava la certezza dal carteggio inedito di Newton con Cotes, conservato a Cambridge, relativo alla seconda edizione delle « Principia » cui Cotes soprantendeva. In queste lettere il metodo analitico è quasi sempre impiegato nelle loro mutue discussioni di quei punti che sembravano richiedere maggiori spiegazioni. È pur anche stato supposto che Newton debbe aver posseduto qualche metodo analitico di una più alta classe, quale è il « calcolo delle variazioni » per risolvere alcuni dei problemi che ora si trovano nelle « Principia »; sotto

una forma tutta diversa. Ma forse è più probabile che, senza alcun metodo generale e sistematico, egli si facesse strada con qualche modo d'investigazione a lui peculiare, che forse si poteva appena ridurre a regole fisse, ed era così una prova incontrastabile dello straordinario suo ingegno. « L' inspiration », dice Bailly (1), « de cette faculté divine lui a fait apercevoir les déterminations qui n'étaient pas encore accessibles ; soit qu'il eût des preuves qu'il a supprimées, soit qu'il eût dans l'esprit une sorte d'estime, une espèce de balance pour approuver certaines vérités, en pesant les vérités prochaines, et jugeant les unes par les autres ».

Quando preparava la prima parte delle sue ricerche per mandarla alla Società Reale, egli dice (in una delle sue lettere): « Io *composi* allora alcuni teoremi »; impiegando evidentemente questa parola nel senso degli antichi geometri, e volendo dire che, avendo già scoperto i risultati coll'analisi, li pose in una forma *sintetica*, senza la quale non voleva che comparissero alla luce.

In alcune parti delle « Principia », nelle quali non poteva seguire intieramente l'antico modello, troviamo ch'egli si scusa quasi coi lettori di una tale trasgressione per desiderio di essere conciso. « *Componi possent harum assertionum demonstrationes more magis geometrico, sed brevitati consulo* ». Spesse volte, è probabile, che persuadesse se stesso della verità delle conclusioni cui era giunto, senza credere che fosse necessario di dar loro alcuna dimostrazione formale; ovvero che le ricavasse con vari metodi indiretti di

(1) Hist. de l'Astron. tom. ii, liv. xii, 28.

calcolo che, con sagacità e destrezza particolare, poteva sempre applicare a casi apparentemente meno suscettibili di una tale soluzione; ma non si poteva indurre a permettere che alcuna sua investigazione comparisse in quello stato dinanzi il pubblico. Abbiamo già avuto occasione di citare i suoi sentimenti su questo punto intorno a teoremi matematici. Nel caso presente v'era pure un altro e più potente motivo; egli sapeva che avrebbe da ogni parte violenti pregiudizi ad incontrare. Egli temeva di annunziare il principio delle flussioni, perchè prevedeva che sarebbe stato mal inteso, e gli avrebbe suscitato contro ogni specie di cavilli e di obbiezioni; ed era sul punto di rivelare scoperte che non solamente avrebbero risvegliato ogni avanzo di pregiudizi Tolemaici, cui si trovavano ancora alcuni pochi aderenti, ma ecciterebbero contro di lui la potente falange dei discepoli della filosofia Cartesiana che regnava assoluta nelle università. Sarebbe pertanto stato assai imprudente l'arrischiare l'annunzio delle sue scoperte in una forma nella quale sarebbero state esposte ad una doppia guerra tanto per se stesse, quanto pel metodo col quale erano esposte. Nel caso di qualunque altro filosofo posto in simili circostanze, questo basterebbe per dare una spiegazione perfettamente sufficiente di una ripugnanza a mettere tali investigazioni sotto gli occhi del pubblico; ma quando a questo aggiungiamo la considerazione della nota indole di Newton, ci pare che debba sparire ogni ombra di difficoltà nel render ragione della sua ritrosia a pubblicare il suo sistema, e della preferenza da lui data all'antica forma di dimostrazione, cose che hanno dato luogo a tanta sorpresa e a tante specolazioni. E l'una e l'altra è stata in fatto stranamente e indegna-

mente rappresentata da qualche scrittore francese. Bossut, dopo di aver giustamente osservato che il soggetto è stato senza necessità involto in difficoltà a cagione del metodo seguito, venendo a parlare tanto della forma sintetica, quanto della somma brevità di alcune delle enunciazioni, è indotto a supporre, « ou que Newton, doué d'une sagacité extraordinaire, avait un peu trop présumé de la pénétration de ses lecteurs; ou que par une faiblesse, dont les plus grands hommes ne sont pas toujours exempts, il avait cherché a surprendre une admiration que le vulgaire accorde facilement aux choses qui passent ou fatiguent son intelligence ». E D'Alembert parlando della predilezione di Newton per l'antica geometria, dice: « Il s'en servait pour cacher sa route, en employant l'analyse pour se conduire lui-même ».

Egli è inutile l'osservare che tutto il tenore della condotta e dell'indole di Newton confuta manifestamente la supposizione che fosse guidato da motivi simili a questi, quand'anche la cosa non fosse pienamente spiegata da ciò che abbiamo detto.

Storia delle scoperte — continuata

Abbiamo sin qui rapidamente esaminato i soggetti delle ricerche di Newton. Passeremo adesso alla storia della loro produzione e della loro pubblicazione.

Dal tempo del rinnovato e felice suo calcolo nel 1682, sembra che Newton sia stato compiutamente assorto nella gran varietà d'investigazioni necessarie per chiarire le innumerevoli conseguenze del gran principio della gravitazione universale che gli si affollavano

alla mente. « D'allora in poi, » dice Biot, egli si consacrò interamente al godimento di queste deliziose contemplazioni », e nei due anni che impiegò a preparare e a sviluppare i materiali della sua grand'opera, « visse soltanto per calcolare e per pensare ». Perduto nella contemplazione di questi grandi oggetti, spesso agiva senza sapere che cosa si facesse; i suoi pensieri non conservando alcuna connessione con le faccende ordinarie della vita. Si dice che frequentemente il mattino nell'alzarsi se ne rimaneva seduto sulla sponda del letto, occupato di qualche nuova idea, e continuava a stare per più ore in quella posizione tutto assorto ne' suoi pensieri, senza vestirsi. Si narra pure che talvolta dimenticava di mangiare se altri non glielo ricordava. A questo potere concentrato de' suoi pensieri, totalmente astratti dagli oggetti esteriori, egli dovette le sue conquiste intellettuali. Quando gli fu chiesto più tardi, con che mezzo fosse giunto alle sue grandi scoperte, si dice che rispondesse « Col sempre pensarvi ». Un'altra volta osservava: « Io tengo il soggetto costantemente dinanzi gli occhi ed aspetto che il primo albeggiare si spanda lentamente e per gradi in una piena e chiara luce ». E in una lettera al Dr. Bentley dice: « Se in questa parte ho renduto qualche servizio al pubblico, non è dovuto ad altro se non alla perseveranza e ad una paziente meditazione ».

Si è già osservato che l'occasione immediata per cui le indagini di Newton si diressero più particolarmente al soggetto del moto elittico, fu il suggerimento di Hooke intorno al cadere dei gravi. Abbiamo indicato i passi coi quali altri si era avvicinato a questa investigazione; ed abbiamo veduto che alcuni dei più eminenti filosofi riconobbero la loro incapacità di scoprire questa legge,

e che Hooke medesimo, sebbene arrischiasse un'asserzione, non fu in grado di darne una prova.

Nel mese di gennaio 1684, il Dr. Halley, sulla ipotesi delle *orbite circolari*, per mezzo dei teoremi di Huygens riguardanti la forza centrifuga, aveva determinato la tendenza in diversi pianeti ad allontanarsi dal sole; e dalle analogie di Keplero aveva riconosciuto che queste tendenze erano reciprocamente come i quadrati delle distanze; di modo che la forza del sole a ritenerli nelle loro orbite, dovendo essere esattamente eguale a quelle, doveva seguitare la stessa legge. Tuttavia Halley vide chiaramente che questo, sebbene sia vero nelle orbite *circolari*, non era provato per le elittiche. In una discussione su questo soggetto con Sir C. Wren e col Dr. Hooke, il primo confessò candidamente il cattivo esito dei suoi tentativi d'investigare il problema generale, ed offrì di fare un regalo a qualunque filosofo lo risolvesse nel termine di due mesi. Hooke affermò di avere da qualche tempo scoperto la cosa, e di possederne una compiuta dimostrazione, ma quando fu sollecitato a rivelarla, disse essere sua intenzione di tenerla segreta per qualche tempo, « affinchè altri venendo a tentarla e non riuscendo nell'intento, sapesse come apprezzarla quando egli la facesse di pubblica ragione ». Risulta che prima di questo tempo Hooke aveva più volte partecipato le sue idee in proposito a Sir C. Wren, ed era persino entrato in qualche specie di argomento per sostenerle; ma quel valente matematico aveva trovato ogni cosa affatto inconchiudente.

Halley conoscendo la forza dell'ingegno di Newton e probabilmente essendo informato che la sua attenzione si era fermata su questo soggetto, andò a Cam-

bridge nell'agosto del 1684, espressamente ad oggetto di consultarlo su questo punto. Newton gliene mostrò la soluzione e, caldamente sollecitato, gliene promise una copia. Tuttavia egli fu lento a compiere la sua promessa; e quantunque permettesse ad Halley di partecipare alla Società Reale che l'investigazione era compiuta ne' suoi punti essenziali, desiderava di non pubblicarla per qualche tempo, non credendo che fosse ancora in istato da potersi presentare al pubblico. Halley privatamente, e la Società officialmente, lo sollecitarono a lasciare che la sua scoperta fosse notata nei registri per assicurare i suoi giusti diritti alla priorità. Egli vi consentì e promise di preparare spacciatamente il manoscritto; benchè poi non lo presentasse alla Società Reale prima del mese di aprile del 1686. Esso comprendeva quasi tutto ciò che adesso costituisce il primo libro delle « Principia », vale a dire la parte principale della dinamica astratta, non inchiusa la sua attuale applicazione al sistema planetario. La lettura della comunicazione di Newton fu seguita dai giusti encomii che le erano dovuti, e particolarmente dalle lodi di Sir J. Hoskins che presiedeva in quell'occasione l'adunanza, ed era amico particolare di Hooke. Questi se ne offese grandemente ed accusò con amarezza il vicepresidente di non avergli fatto giustizia, attestando la sua scoperta anteriore delle medesime verità. Dopo l'adunanza, Hooke dichiarò pubblicamente ai soci non solamente di aver fatto la stessa scoperta, ma che Newton ne aveva tolto da lui, almeno in parte, la soluzione. Che fondamento vi fosse per un tal pretesto lo abbiamo già a sufficienza veduto; e l'opinione generale della Società fu sfavorevole alle pretese di Hooke. Halley ne diede avviso a Newton il quale fece una

risposta moderata e compiuta; ma prima che la sua lettera partisse, ricevendo da un altro amico una diversa notizia non senza esagerazione, vi aggiunse una poscritta assai severa. Ma non prima fu assicurato da Halley che le sue osservazioni erano più calde che l'occasione veramente non richiedesse, egli ne chiese scusa col suo solito candore, e suggerì l'aggiunta di uno scolio (che si trova adesso nelle « Principia ») in cui si riconosce che nelle orbite circolari, Wren, Hooke e Halley avevano già trovato la legge di forza inversamente come i quadrati delle distanze. Questo pose fortunatamente fine ad ogni disputa.

Il consiglio della Società Reale ordinò che s' indirizzasse una lettera di ringraziamento a Newton; ed intraprese di stampare il tutto a sue spese come trattato a parte. Newton, informato di questa determinazione da Halley, bramava di perfezionare la sua opera prima che si stampasse, e sebbene avesse già compiuto il terzo libro sul sistema del mondo, deliberò di sopprimerlo. « La filosofia, dic' egli, è simile a una donna impertinentemente litigiosa, e tanto vale essere impegnato in liti, quanto aver a fare con essa. La trovai tale altre volte, e adesso non sì tosto me le avvicino che me ne fa sentire l'effetto ».

Replicando a questa lettera, Halley esprime il rincrescimento che la tranquillità di Newton fosse stata a questo modo turbata da invidiosi rivali, ma lo prega e lo scongiura in nome della Società, e pel bene della scienza di non persistere a trattenere il terzo libro: « Specialmente, soggiunge egli, che questo sarà il più interessante e di gran lunga più popolare del rimanente, e lo renderà accettevole a coloro che si chiamano filosofi senza matematiche, il cui numero è

maggiore degli altri ». Newton così pregato cedeva. Il secondo libro fu comunicato in marzo 1687, il terzo nel mese seguente, e il tutto fu pubblicato in maggio dello stesso anno, sotto il titolo di « *Philosophiae naturalis Principia mathematica* ». I primi due libri portano il titolo più specifico « *De motu corporum* »; e il terzo quello « *De mundi systemate* ».

Accoglimento del sistema di gravitazione

L'accoglimento che ricevettero queste splendide scoperte fu quello che tanto giustamente meritavano fra coloro che erano veramente capaci di apprezzarle; ma se si riguarderà da una parte alla vera difficoltà del soggetto, e dall'altra alla forza del pregiudizio, non saremo sorpresi di trovare che il numero dei seguaci di Newton fu picciolo da principio, e che il progresso della sua filosofia fu lento.

Si è già osservato quanto il sistema Cartesiano ampiamente a quel tempo prevalesse, e quanto fortemente si fosse radicato nelle sedi del sapere. Oltrechè, lasciando da parte le prevenzioni, la dottrina di Newton presentava una gran quantità d'idee di una natura intieramente nuova per l'apprensiva. Le menti degli uomini non erano affatto preparate per nozioni come quelle di forze centrali, anche in concezioni astratte, e molto meno quando erano connesse con l'idea di un' attrazione fisica. Le gran masse dei pianeti sospese nello spazio, e trattenute nelle loro orbite da un' influenza invisibile residente nel sole, erano concezioni troppo remote da ogni cosa cui la filosofia fosse avvezza, perchè potessero essere ricevute senza esita-

zione e senza difficoltà; e tale era l'assenza di ogni associazione colle cose intese per lo passato, che non era da maravigliarsi se anche la forza della dimostrazione non aveva il potere di far ricevere conclusioni così inaspettate. Se aggiungiamo a questo la circostanza che lo stabilimento delle prove era impossibile per mezzo di qualunque metodo d'investigazione matematica prima esistente, e che dovevano essere stabilite con una nuova specie di geometria inventata per questo oggetto, la quale lasciava luogo ad una grand'apparenza di obbiezione ed era involta in qualche oscurità, non ostante che Newton con la sua maestria e colla sua mirabile affezione per l'antica sintesi l'avesse adattata a quello stile e a quel linguaggio, in una maniera che nessun altro geometra avrebbe osato tentare; — tutto ben considerato, noi ripetiamo che il lento e limitato progresso della filosofia Newtoniana non debbe essere soggetto di maraviglia.

Presso i filosofi del continente, in particolare, questa seconda circostanza diveniva un ostacolo, forse maggiore che non presso quelli dell'Inghilterra; nè la prima considerazione era senza la sua forza.

Leibnitz, per le sue peculiari idee metafisiche, ripugnava al sistema Newtoniano della gravitazione, che considerava come un risorgimento delle qualità occulte dei peripatetici. Tuttavia ammettendo tutte le conclusioni finali, cercò di stabilirle su principii di sua invenzione.

Huygens non poteva ammettere l'attrazione mutua di tutte le particelle della materia, benchè vedesse che la legge esisteva fra le masse planetarie. Giovanni Bernoulli si opponeva a tutto il sistema. Cassini e Maraldi non furono in grado di apprezzare le dimostra-

zioni di Newton, e continuarono a calcolare le orbite delle comete sulle più mal fondate ipotesi. Fontenelle fu, finchè visse, tutto Cartesiano. Mairan diede forse uno dei primi esempi di conversione, dopo di aver continuato per lungo tempo ad aderire ai vortici. Il cavaliere Louville comunicò una memoria all'Accademia Reale delle scienze nel 1720, la quale fu la prima della sua collezione in cui i principii Newtoniani siano riconosciuti, sebbene non in tutta la loro estensione. S'Gravesande introdusse alquanto prima il sistema di Newton nelle università olandesi. Maupertuis l'abbracciò durante un viaggio che fece in Inghilterra nel 1728, e nel 1730 pubblicò un trattato filosofico intitolato «*Figure des Astres*», in cui difese la proprietà dell'attrazione dalle obbiezioni metafisiche.

E per verità le obbiezioni di questa classe sembrano essere state tra le più formidabili che l'idea dell'attrazione potesse incontrare. Si allegava che fosse un'assurdità metafisica, come se si venisse ad asserire «che un corpo agisce dove non è». Ma i disputanti non si accorgevano che questa proposizione è soltanto assurda quando è intesa secondo un'interpretazione particolare dei termini; e ch'essa non è altro se non ciò che è letteralmente vero per rispetto a quasi ogni specie di azione fisica, poichè abbiamo ragione di credere che non vi sono corpi i quali siano attualmente in contatto.

La filosofia di quei tempi era ancora involta in quella specie di realismo metafisico, che non poteva scegliere un nome che stesse semplicemente come simbolo di una classe generale di fatti, senza supporre qualche relazione latente alla causalità nel falso senso allora attribuito a questo termine. Se gli si diceva che la

gravitazione non era altro se non il fatto generale di una tendenza dei corpi ad avvicinarsi, l'uno all'altro in proporzione diretta della massa ed inversa del quadrato della distanza, un *filosofo* di quel tempo non poteva riconoscere in questo nulla che fosse degno del nome di filosofia, salvo che quest'annunzio non s'intendesse contenere in sè qualche allusione a un non so che di latente, per virtù del quale l'effetto era prodotto. A malgrado di tutta la cura e di tutta la precauzione di Newton nell'avvertire i lettori delle «Principia» che non intendeva niente di più di quello che era espresso, e che, quando impiegava le parole *attrazione* e *gravitazione*, dovevano intendersi come semplicemente relative alle leggi attuali che aveva stabilite, — ai nudi fatti quali erano raccolti nelle loro forme più generali, — tuttavia era evidente che i suoi lettori in generale erano poco preparati per una filosofia così semplice e così intelligibile; e a dir vero gli uomini non erano ancora atti a credere che alcuna cosa intelligibile potesse essere vera filosofia. Sembra altamente probabile che Newton, proponendo certe congetture intorno a un etere il quale poteva supporsi riempiere tutto lo spazio, ed essere in qualche modo il mezzo di comunicazione di quella specie di azione che costituisce la gravitazione, pensasse maggiormente a metter fuori qualche cosa adattata al gusto de'suoi lettori, che a soddisfare se stesso. Egli è certamente sotto questo aspetto, senza pretendere di decidere alcuna cosa sulla preferenza da darsi alle varie ipotesi, e chiaramente con una eguale noncuranza di tutte, ch'egli dice così esplicitamente: «La parola gravità, la impiego qui in generale per significar la tendenza, qualunque sia, dei corpi ad avvicinarsi l'uno all'altro; sia che questa ten-

cc

denza nasca dall'azione dei corpi che si cercano mutuamente l'un l'altro, o si agitano reciprocamente con mandar fuori esalazioni; sia che abbia origine dall'azione di un etere, o di qualunque specie di un *mezzo* aereo corporeo o incorporeo, che spinga continuamente l'uno verso dell'altro i corpi che in esso galleggiano ». Questo, come pure altri passi de' suoi scritti, chiaramente dimostrano che Newton, se abbracciò alcune di queste idee, le trattò sempre come mere congetture, e come imagini con cui la sua fantasia talvolta si ricreava; ma le tenne sempre diligentemente e risolutamente separate e distinte da tutte le vere conclusioni filosofiche.

Un'altra questione non poco agitata a quel tempo fu, se la gravità sia una proprietà *inerente* della materia. Come la maggiòr parte di quelle questioni verbali, spesso designate come metafisiche, non si vedeva che anche questa si raggirava interamente sulla definizione dei termini. Nessuna delle proprietà della materia è conosciuta se non per mezzo dell'osservazione; nessuna è inerente se non quelle che per osservazione sono trovate essere costanti e universali. Se l'osservazione mostrerà questo esser vero della gravità, allora sarà inerente: ma la frase era forse intesa diversamente: e in alcuni degli argomenti s'intendeva che la gravitazione non poteva aver effetto fra due corpi distanti senza qualche mezzo interposto di comunicazione. Le congetture di Newton, come abbiamo testè veduto, sembrano riferirsi a questo modo di vedere il soggetto. La questione era adunque questa, se la gravitazione dipenda solamente da qualche cosa nella materia, o in parte eziandio dal mezzo interposto; questione che non potrà mai essere determinata finchè

non avremo provata l'esistenza ed accertate le proprietà di un tal mezzo. Cotes, nella prefazione alla seconda edizione delle « Principia » disse essere la gravità una proprietà della materia quanto l'estensione, l'impenetrabilità, o qualunque altra simile; ed è stato censurato per essersi così espresso. Se l'intendeva nel primo senso, egli aveva indubitatamente ragione: e che così l'intendesse, ci sembra fuori di dubbio da tutto il tenore delle sue osservazioni.

Quantunque il progresso della filosofia di Newton fosse così lento sul continente, era da aspettarsi che fosse alquanto più rapido nel suo proprio paese e specialmente nell'università cui apparteneva. Prima della pubblicazione delle «Principia» Newton aveva dato dalla cattedra, e come parte del suo corso, parecchie lezioni sul sistema dinamico che stava sviluppando. Whiston suo amico e successore fa menzione di questo fatto, e dice di averne udita tutta la serie ma senza menomamente intenderla. Questo è facile a concepirsi, senza far torto nè al maestro, nè all'uditore: il soggetto era al tutto nuovo e poco capace di essere illustrato in letture pubbliche e formali fatte in latino, e doveva apparire assai astruso e di niun interesse prima che la sua connessione con le gran verità del mondo planetario potesse pur essere sospettata. Il Cartesiano era certamente a quel tempo il sistema seguito nell'università; e quantunque Newton continuasse a spiegare le sue proprie dottrine le quali, senza dubbio, dopo la pubblicazione delle « Principia » debbono aver preso un nuovo grado d'importanza, tuttavia ci volle qualche tempo prima che fossero generalmente intese e ricevute. Nel 1694 il Dr. Samuele Clarke sostenne pel suo grado di baccelliere una tesi tratta dalle « Prin-

cipia»; il che prova che le nuove dottrine erano allora riconosciute dall'università. E nel 1697 lo stesso individuo pubblicò una nuova edizione del classico e popolare trattato di Rohault sulla fisica, al quale aggiunse una serie di belle e profonde note tendenti alla confutazione diretta delle dottrine Cartesiane del testo, così insinuando la nuova filosofia sotto la protezione della vecchia. Dopo questo tempo il sistema Newtoniano fu generalmente letto e ricevuto nell'università. Pare che una conoscenza ed una giusta estimazione delle scoperte di Newton si diffondessero per tempo nella Scozia. In un libro di memorie, tenuto da Pryme suo collega a Cambridge, troviamo notato che Newton prima del 1692 aveva avute molte lettere di congratulazione sulla sua opera delle «Principia», e specialmente dalla Scozia. Il sistema della gravitazione trovò capaci e zelanti sostenitori nelle università Scozzesi. Prima del 1691 esso era insegnato da Giacomo Gregory a St. Andrew e da Davide Gregory a Edimburgo. In quell'anno il secondo fu nominato alla cattedra di astronomia a Oxford e potè introdurre lo studio di Newton in quell'università in modo che, per testimonianza di Whiston «fece sostener tesi da' suoi scolari su varie parti della filosofia Newtoniana, mentre a Cambridge si continuavano a studiare ignominiosamente le fittizie ipotesi dei Cartesiani». Il Dr. Keill diede tosto dopo una serie di lezioni pubbliche sperimentali a Oxford, nelle quali, al dire di Desaguliers, «egli enunziava» semplicissime proposizioni che provava per mezzo di sperimenti; e da queste ne deduceva altre più composte che confermava pur anche nel medesimo modo, finchè aveva istruito i suoi uditori nelle leggi del moto, nei principii d'idrostatica e di ottica, ed in alcune delle

principali proposizioni di Newton intorno alla luce ed ai colori. Egli cominciò questi corsi a Oxford verso l'anno 1704 o 1705, e così promosse lo studio della filosofia Newtoniana». Il soggetto era nuovo, e l'università a quel tempo non era tutta immersa nei soli studi classici. Desaguliers gli succedette nel 1710 in queste letture, e poscia lesse in Londra nel 1713, dove dice di aver trovato «che la filosofia Newtoniana era generalmente ricevuta fra persone di ogni grado e professione ed anche fra le donne, per via degli sperimenti».

Fra le persone più illustri convertite alle dottrine Newtoniane possiamo annoverare Locke; e il modo in cui si formò il suo convincimento è caratteristico della chiarezza del suo intelletto metodico. La sua conoscenza delle matematiche era soltanto elementare; quindi si rivolse ad Huygens per sapere da lui se le deduzioni matematiche delle «Principia», considerate astrattamente come tali, erano esatte. Assicurato della loro accuratezza da un'autorità così eminente, egli ne riguardò la verità per concessa, ed esaminò il raziocinio fisico cui sono applicate; e questo parendogli soddisfacente, divenne razionalmente convinto della verità di tutto il sistema. Desaguliers racconta questo fatto che aveva udito da Newton medesimo. Pare che Locke conversasse poscia lungamente con Newton su questo soggetto; e fra le sue carte si trovò una lettera del gran filosofo, contenente una breve serie di proposizioni, con le quali sembra che tentasse di dargli la concatenazione diretta di deduzioni conducenti al teorema del moto elittico, in una forma alquanto diversa da quella adottata nelle «Principia» (1).

(1) Lord King, — Vita di Locke, p. 209.

Studi successivi di Newton

Da quanto abbiamo già veduto degli studi di Newton, è manifesto ch'egli fu occupatissimo dall'anno 1665 al al 1687. Ma l'impareggiabile grandezza delle sue scoperte e de' suoi lavori nella scienza fisico-matematica è ancora più sorprendente quando troviamo che nello stesso tempo la sua attenzione era rivolta a molte altre cose, e che si hanno prove della laboriosa applicazione colla quale vi attendeva. Più tardi produsse un sistema di cronologia antica, costrutto con gran ricerche; particolarmente da indicazioni ricavate dall'antica storia o dalle tradizioni di ecclissi, posizioni degli equinozi ed altri dati astronomici da cui deriva i suoi calcoli. Questo sistema egli stesso dice chiaramente di averlo composto durante il suo soggiorno a Cambridge, essendo avvezzo, giusta le sue espressioni « di ricrearsi con la storia e la cronologia quando era stanco degli altri studi ». Oltre ad altre testimonianze, abbiamo quelle delle memorie lasciate dal Pryme, il quale nel 1692 parla di lui come di una persona « grandemente famosa per la sua dottrina, essendo eccellentissimo matematico, filosofo, teologo, ecc. ». Egli si era pertanto applicato da lungo tempo allo studio della teologia. La sua Dissertazione critica sull'autenticità di due passi del Nuovo Testamento e il suo Comento sulle profezie di Daniele e sull'Apocalisse non furono pubblicati se non molti anni dopo; ma sono citati come lavori ai quali aveva posto mano da qualche tempo, in due lettere a Locke del 1691 e del 1692.

Newton aveva sempre mostrato molta inclinazione

per gli sperimenti chimici. Imperfetta com'era allora quella scienza e affatto priva di ogni principio fisso e di termini definiti, molte parti n'erano tuttavia d'importanza pratica e non si potevano investigare se non per esperimento; tale era il soggetto della composizione delle leghe metalliche, preziose per Newton per la costruzione di specchi pei telescopi, e intorno alle quali aveva molto lavorato. Si può pur anche dire che egli fosse il primo a dare un cenno dell'esistenza dell'« Attrazione elettiva »: ma forse le più notevoli delle sue ricerche di questa classe sono quelle che riguardano il calore. Egli accertò con parecchi metodi ingegnosi le temperature alle quali certi particolari cambiamenti, specialmente lo squagliarsi, avevano luogo in diverse sostanze; e trovandosi esser punti assolutamente invariabili per lo stesso corpo, ne risultò la prima scala fissa *termometrica*. Gli stromenti precedenti, siccome abbiamo osservato, erano meri *termoscopii*; essi *mostravano* quando un effetto era prodotto, ma non lo *misuravano*. Newton fu il primo a provare che l'agghiacciarsi, il bollire, lo squagliarsi e l'accendersi, — in una parola i cambiamenti dei corpi da uno stato solido a un fluido, seguivano sempre a temperature invariabili; quindi la scala annessa ad un termometro non era più una mera serie di divisioni arbitrarie, ma fu determinata dai punti fissi del bollire e dell'agghiacciare, dividendosi lo spazio intermedio in qualunque numero conveniente di gradi. Quest'importante idea è il fondamento di tutte le nostre cognizioni dei fenomeni del calore. La data precisa di queste ricerche è incerta. Prima del 1692 aveva stabilito una specie di laboratorio, in cui, quell'anno, si appiccò sgraziatamente un fuoco che consumò alcuni

de' suoi manoscritti, i quali, al dire di Pryme, contenevano i risultati di sperimenti importanti sulla luce e sui colori. Newton non fa in alcun luogo un'allusione diretta a questo soggetto; ma vi è molta probabilità nella congettura di Biot che questi manoscritti contenessero l'intera esposizione di ciò che si trova adesso nel terzo libro dell'ottica in una forma apertamente incompiuta, e semplicemente espressa per via di dubbi e di congetture.

Non possiamo qui tralasciare di far brevemente parola di un avvenimento relativo alla persona di Newton, il quale ha dato luogo a considerevoli discussioni. È noto che nel 1692-93 fu assalito da una grave malattia, e si è affermato che fosse accompagnata da aberrazione mentale, i cui effetti si suppone che più non si cancellassero dalle sue facoltà.

Le prove sono state raccolte e rigorosamente esaminate (1); e ne è risultato che le lettere di Newton di quel tempo mostrano uno stato infelice d'irritazione mentale e di dimenticanza quasi simile ad incoerenza. In una lettera susseguente egli parla particolarmente della sua malattia, e l'allega quasi scusa delle espressioni della precedente: aggiungendo che «l'aveva impedito di dormire per cinque notti di seguito»; e che non aveva nè mangiato, nè dormito bene da un anno, nè la sua mente era nello stesso stato di prima».

Il suo amico Millington, in una lettera di settembre 1693, rispondendo a domande espresse sullo stato della mente di lui, dice che la malattia gli aveva lasciato «un picciol grado di malinconia, ma non esservi ra-

(1) Vedi Brewster, Vita di Newton, p. 222, e il Foreign quarterly Review di luglio 1833.

gione di sospettare che il suo intelletto ne sia stato tocco ». Pryme, parlando delle sue carte consumate dal fuoco, dice, « essersi creduto da tutti che fosse per divenirne pazzo, e che la sua afflizione fu tanta da non potersene riavere per un mese ». Finalmente abbiamo un'altra versione di questa storia in un libro di memorie di Huygens, in cui, sulla relazione di un tal Colin, il caso è descritto espressamente come un'assoluta aberrazione mentale.

Questo testimonio *de relatu*, si vuol osservare essere il solo che parlò di vera insania; ma è cosa ovvia che le circostanze venendo ad essere ripetute, hanno potuto acquistare qualche esagerazione. Il fatto è abbastanza chiaro per la testimonianza delle lettere stesse di Newton, e la positiva dichiarazione di coloro che lo conoscevano intimamente; nè è difficile il renderne ragione. Abbiamo veduto abbastanza qual fosse il temperamento di Newton per iscorgere in lui certe indicazioni di un'indole sommamente sensitiva che così spesso accompagna i più grandi ingegni. Aggiungasi a questo la gravità della malattia, il dolore provato per la perdita de' suoi manoscritti, il dispiacere che gli cagionarono intorno a quel tempo i tentativi di alcuni amici diretti a procurargli il favore della corte, e sarà facile il vedere come potesse trovarsi in uno stato d' irritazione ipocondriaca che per qualche tempo impedì il pieno esercizio delle sue facoltà intellettuali; ma presto sparì col ritorno della salute.

Per ciò che è degli effetti permanenti della malattia di Newton, tutto ciò che viene allegato è una mera presunzione perchè susseguentemente non abbia intrapresa alcuna ricerca filosofica; illazione al tutto inconchiudente, quand' anche la supposizione fosse giusta, ciò che presto vedremo non essere.

Interessante qual è una simile questione come riguardante la storia personale di un sì grand' uomo, essa ha acquistato una maggior importanza per la relazione che si suppone avere col carattere di alcuni de'suoi scritti, e col tuono delle sue opinioni. Si dice che Laplace prendesse le narrate circostanze sotto l'aspetto più sfavorevole e che applicandole agli scritti teologici di Newton, insinuasse esser questi l'opera di una mente insana o per lo meno indebolita; così togliendo indirettamente alla religione quel sostegno che riceveva dal nome di Newton. Biot difendendo Laplace, sebbene neghi positivamente una circostanza, mostra tuttavia in generale di cercar piuttosto di attenuare che di distruggere le allegazioni.

Ora noi abbiamo già indicato le date di alcune delle specolazioni teologiche di Newton, le quali smentiscono ogni insinuazione di questa fatta. Le quattro sue celebrate lettere a Bentley sull'esistenza di Dio, furono scritte, la prima probabilmente innanzi la malattia e le altre poco tempo dopo, o forse in quel medesimo torno.

Biot ha per verità dato una spiegazione assai singolare, cercando di dimostrare la compatibilità di una composizione razionale ed anche eloquente con un'aberrazione mentale, in prova del che viene citando l'esempio di Pascal.

Ma i casi non sono simili in nulla. Le discussioni astruse ed argomentative di Newton non partecipano menomamente al carattere che appartiene all'eloquenza del delirio. Nè v'ha alcuno che non sia costretto ad ammettere essere queste lettere la produzione di un uomo nel pieno esercizio di un acuto intelletto. Le date delle sue altre produzioni già accennate, fanno che non

sia necessario di stendere anche ad esse la medesima osservazione; e qualunque sia il merito dei loro argomenti essi non presentano certamente nulla che somigli ai deliri di un visionario o alle allucinazioni di un entusiaste.

E, in fatto, chiunque studi l'indole di Newton debbe scorgere, che sin dal principio la sua inclinazione al contemplare lo rivolse alle meditazioni religiose ed allo studio della Scrittura; e se v'ha diversità di opinioni intorno alle sue specolazioni teologiche, non ve ne può essere se non una sola sul carattere solido e razionale della sua pietà in ogni periodo della sua vita; mentre fin dove l'autorità di un nome può giungere in un simile argomento, il Cristianesimo può certamente vantarsi che si sia aggiunto un tanto campione alla sua causa.

Ma dopo quella sua malattia noi troviamo che Newton fu di tempo in tempo occupato in varie investigazioni filosofiche. Per gli ultimi quarant'anni della sua vita le sue occupazioni scientifiche non risplendono certamente accanto all'abbagliante splendore di quelle scoperte che illustrarono i suoi primi anni, e paiono aver accecato alcuni scrittori finchè più non iscorgono i suoi studi posteriori, dai quali affermano che si ritraesse totalmente nell'ultima parte della sua vita.

Tuttavia nel 1694 troviamo ch'egli era in comunicazione con Flamstead sul soggetto della teoria lunare, e ne faceva il paragone con le sue osservazioni affine di maggiormente svilupparla, ed abbiamo già parlato della sua soluzione della traiezione e di altri problemi, i quali soli avrebbero bastato a procacciare un'alta riputazione matematica a qualunque individuo ordinario.

Per la sua amicizia col sig. Montague, divenuto poscia conte di Halifax, Newton fu nel 1695 nominato ad un

impiego nella zecca, di cui divenne uno degli amministratori nel 1699. In questa carica le sue cognizioni chimiche e matematiche furono direttamente applicate al servizio pratico del suo paese. I doveri di questi uffici che adempì con la massima diligenza, probabilmente l'avrebbero impedito di attendere a qualche lavoro filosofico d'importanza. E non dobbiamo dimenticare l'influenza che la controversia intorno le flussioni ebbe sulla mente di Newton. Questa sola è da supporsi che bastasse a reprimere in lui ogni desiderio o disposizione ad entrare in soggetti matematici.

Nel 1699 l'Accademia delle scienze di Parigi, avendo formato il disegno di ammettere alcuni soci stranieri nel suo grembo, si affrettò a pagare il tributo di rispetto dovuto a Newton, inscrivendo il suo nome fra i primi di essi.

Nel 1703 rinunziò alla sua cattedra: nello stesso anno fu eletto presidente della Società Reale, e nel 1705 fu fatto cavaliere dalla regina Anna.

Già si è detto che intorno a questo tempo parecchie delle prime sue produzioni matematiche furono pubblicate « L'arithmetica universalis » essendo stata stampata senza consenso e ad insaputa dell'autore da una copia imperfetta di Whiston, egli stesso ne soprantese una nuova edizione nel 1712. Nello stesso tempo lavorava a compiere un grosso trattato sulle flussioni, che non comparve tuttavia se non dopo la sua morte.

La seconda edizione delle « Principia » fatta da Cotes fu pubblicata nel 1713. In essa fu per la prima volta inserito il celebre scolio sul fine; ma si hanno prove da alcune lettere scritte al Dr. Gregory prima del 1698, che la sostanza ne era già scritta sin d'allora. Il carteggio sulle varie alterazioni ed aggiunte fatte

in quest' edizione, fra l'autore e l'editore, è lungo e curioso; esso è conservato con gran cura nella biblioteca del collegio della Trinità di Cambridge.

Pare che prima di questo tempo la stessa idea che è adesso universalmente conosciuta come il principio del quadrante di Hadley, si presentasse a Newton; egli ne lasciò una descrizione quantunque non appaia che la mettesse in pratica.

La terza edizione delle « Principia » venne in luce nel 1725 per cura del Dr. Pemberton. Lo scolio relativo alla scoperta delle flussioni, di cui si è fatto cenno, vi fu ommesso. Alcuni attribuirono questo all' autore, altri all'editore; e fu rappresentato come l'effetto d'una meschina ostilità verso Leibnitz, quasi fosse una ritrattazione del riconoscimento de' suoi dritti; ma si dimentica che conteneva pur anche la dichiarazione della sua priorità. Il vero motivo fu certamente il dispiacere che provava per ogni allusione a questo soggetto, come pure la considerazione che non era essenziale all'opera.

Da tutto ciò che abbiamo veduto dell'indole di Newton, non era forse da aspettarsi ch' egli si mostrasse uno dei difensori dei privilegi dell'università contro le pretese di Giacomo II nel 1687; nè che avesse poscia rappresentato l' università in due parlamenti, la qual cosa è più cagione di sorpresa che il vedere la sua rielezione andar fallita nel 1705. Egli era evidentemente poco atto a prender parte nelle misere turbolenze della vita politica. Ma sebbene non sedesse in parlamento, egli ebbe parte in una circostanza ad un provvedimento pubblico più consentaneo ai suoi studi.

Sulle incalzanti rappresentazioni di vari mercatanti e navigatori, la camera dei Comuni nominò nel 1714

una commissione per esaminare l'utilità di proporre qualche ricompensa per la scoperta della longitudine su mare. Alcuni de' primi scienziati furono esaminati da questa commissione e Newton con essi. In quest'occasione egli manifestò la sua opinione con uno scritto il quale, sebbene steso con istile conciso, è perfettamente chiaro per tutti coloro che hanno qualche idea della materia. Egli vi enuncia i diversi metodi proposti, e le obbiezioni pratiche che vi si presentano. Del metodo di un oriuolo, per notare esattamente il tempo, egli dice semplicemente che « un tale oriuolo non è ancora stato fatto ». Quello per mezzo degli ecclissi dei satelliti di Giove, lo considera come impraticabile su mare. A quello delle osservazioni lunari appone che nessuna tavola esistente è abbastanza esatta. Ed una quarta idea allora proposta da Ditton sembra essere meramente stata un modo di tener conto del corso della nave piuttosto che di cercar la longitudine; sebbene in alcuni casi potesse essere utilmente impiegato.

Newton lesse questo scritto alla commissione. Whiston (una delle persone esaminate) dice, che nessuno l'intese, e che, dopo di essersi seduto, Newton stette ostinatamente in silenzio, benchè sollecitato a spiegarsi in modo più distinto. Finalmente pensando che il divisamento potesse essere rigettato, Whiston si arrischiò a dire che Newton temeva di compromettersi, ma che veramente era favorevole all'idea; ed egli ripetè la medesima dichiarazione. La commissione raccomandò la proposizione al parlamento, e questa fu finalmente vinta, e condusse alla formazione di un ufficio di longitudine, tribunale cui furono rimandate tutte le cose risguardanti questo importante soggetto. Dinanzi a questo si discussero le infinite proposizioni

relative alla longitudine, e mentre le stravaganti e le erronee furono respinte, quelle che meritarono qualche attenzione furono accuratamente esaminate e, in proporzione del loro merito, raccomandate come degne di ricompensa nazionale e d'incoraggiamento. La pubblica utilità di tali premi è troppo ovvia perchè sia necessario di fermarsi a provarla; nè la necessità di un tribunale competente e disinteressato per decidere in proposito è meno manifesta. L'esporre gli evidenti vantaggi che il paese ha direttamente ricavato da questa istituzione, appartiene a un'altra parte della nostra storia.

Ma, tornando a Newton, la sua condotta in quest' occasione, è stata rappresentata come debole e puerile, e tendente a confermare la credenza dell'allegata aberrazione mentale di alcuni anni addietro. Il fatto tuttavia non prova nulla di questo. Che il suo scritto non sia stato inteso da' membri della camera de'Comuni di quel tempo, è cosa niente affatto sorprendente; e che parlando dinanzi una commissione, egli abbia voluto scrupolosamente evitare di compromettersi, sarebbe cosa naturale in chicchessia, e tanto più in una persona di tanta riserbatezza qual era Newton. Sembra quasi che Biot s'imagini avere Newton seduto in questa circostanza come *membro* della Camera, nel qual caso la sua condotta sarebbe parsa singolare; se però si farà attenzione al vero fatto, esso apparirà senza dubbio sotto un diverso aspetto.

Per la carica di cui Newton era rivestito egli venne per necessità ad essere presentato alla corte di Giorgio I, nella quale la sua gran riputazione gli procurò non solamente il favore del sovrano, ma quella specie di vera attenzione e di rispetto che era un omaggio

dovuto anche dal più alto grado alla preminenza dell'intelletto. Questo si mostrò particolarmente nell'alta stima in cui fu tenuto da Carolina principessa di Galles e poscia regina, la quale, di mente coltivatissima, ed inclinata allo studio della filosofia, si dilettò particolarmente di conversare con Newton, e di carteggiare con Leibnitz. Si fu in questo carteggio che Leibnitz prese occasione non solamente di combattere la dottrina di attrazione, come fisicamente e metafisicamente falsa, ma eziandio di accusare i principii della filosofia Newtoniana, come infetti di materialismo, e dannosi alla causa della religione. Assurde e malfondate come dovevano comparire queste accuse a chiunque avesse scorse le opere di Newton con qualche candore, è facile com'era il sospettarne in questo caso il motivo, queste insinuazioni essendo state il soggetto di qualche osservazione alla corte, il Re espresse il desiderio che Newton vi rispondesse. Egli obbedì con quella ripugnanza che si può imaginare, contentandosi di trattare la parte matematica della quistione, mentre ne affidò la metafisica al suo illustre amico il dottor Samuele Clarke.

Nel 1718 sulla richiesta della Principessa, e per uso di lei, compilò un compendio delle investigazioni cronologiche già prima da lui fatte: ma per una fatalità che sembrava annessa a tutte le sue opere, una copia imperfetta ne passò sul Continente, e fu pubblicata surrettiziamente a Parigi, donde nacque un'altra controversia in cui non occorre di entrare. Essa fu cagione dell'opera più estesa su questo soggetto che venne alla luce nel 1728 dopo la di lui morte.

Gli ultimi vent'anni della vita di Newton furono quasi interamente scorsi a Londra. Nel 1722 e nei seguenti

anni egli andò soggetto a varie malattie, e nel 1725 alla podagra. Ma negl' intervalli la sua mente tornava di quando in quando ai soggetti filosofici; ed abbiamo memoria di una notevole conversazione da lui tenuta col suo nipote il sig. Conduit, dopo che si riebbe del accennato assalto di podagra, in cui sviluppò parecchie idee intorno alla natura delle comete. Ma il suo tempo era probabilmente impiegato nello studio della Scrittura. Il dì 28 di febbraio intervenne imprudentemente a un' adunanza della Società Reale; la stanchezza rinnovò i suoi mali che si riconobbero procedere dalla pietra, e dopo un alternare di patimenti e d' intervalli tranquilli perdè l'uso de'sensi il dì 18 di marzo, e spirò i 20, nell'ottantesimoquinto anno dell'età sua.

Il suo cadavere fu esposto, e gli si fece un pubblico funerale nella badia di Westminster, dove si eresse poscia un bel monumento alla sua memoria.

Carattere filosofico di Newton

Le osservazioni che siamo venuti facendo, secondo le opportunità, nel corso della narrazione delle scoperte di Newton, hanno dovuto bastare a far conoscere le peculiarità principali del suo carattere e del suo metodo di filosofare. Nel primo abbiamo avuto abbondanti occasioni di osservare quelle combinazioni singolari che senza dubbio erano assai strettamente connesse con le facoltà dell'altissimo ingegno di cui era dotato. Molte di queste furono per lo passato poco conosciute ed osservate; e non è sorprendente che siano state male interpretate, specialmente quando si esaminavano per rispetto a qualche teoria. La somma ripugnanza di

Newton alla pubblicazione delle sue ricerche; la stanchezza e il dispiacere che più d'una volta dice essergli stati cagionati dai soggetti scientifici; la forte inclinazione della sua mente verso le «fantasie mistiche» come le chiama, nelle quali prendeva diletto ad immergersi; il « sollievo » che trovava nei più aridi studi dell'antica cronologia; la sua eccessiva sensibilità alle molestie della controversia; la preferenza da lui data alla tranquillità sopra di ogni altra cosa; la sua positiva determinazione, in più d'un'occasione manifestata, di abbandonare ogni lavoro scientifico; il suo costante rifiuto, negli ultimi anni del viver suo, di rispondere a domande fattegli intorno a soggetti di matematica, per cui rimandava sempre chi l'interrogava ad altri matematici, e specialmente al de-Moivre, il quale, diceva egli « intende meglio queste cose che non le intendo io »; e finalmente ciò che dobbiamo chiamare il suo irragionevole disprezzo delle proprie scoperte, espresso nella notevole dichiarazione; — « Non so che cosa il mondo sarà per pensare delle mie fatiche, ma a me sembra di essere stato simile ad un fanciullo che si trastulla sulla spiaggia del mare, e trova ora un sassolino più bello ed ora una conchiglia più vezzosa che non quelle trovate da'suoi compagni, mentre uno sterminato oceano di verità gli sta dinanzi non ancora scoperto »: — sono tutte cose in cui si mostravano le peculiarità del suo carattere; e queste circostanze riunite insieme non possono non persuaderci che tali peculiarità venivano, per qualche ignoto anello e per misteriose simpatie, che connettono i fenomeni della natura morale e intellettuale dell'uomo, intimamente collegate colle operazioni del possente ingegno di Newton, e con l'esercizio di quelle sorprendenti facoltà

che lo ponevano in grado di abbracciare nello stesso istante le più vaste teorie, e di raccogliere insieme e strettamente unire i più lontani e sparsi elementi del vero. Nella facilità con la quale sembra aver vinte difficoltà quasi senza avvedersi della loro grandezza, possiamo per avventura trovare una spiegazione del poco pregio in cui teneva le cose da lui operate. Ottenne la celebrità senza cercarla; e quand'anche ne fosse stato vago, la sua timida riserbatezza sarebbe stata più che eguale al desiderio di fama, e l'avrebbe indotto a non pubblicare le sue scoperte.

Forse è nella natura di un ingegno di primo ordine il non accorgersi della sua superiorità. Egli matura i suoi sublimi concetti, e giunge alle più alte conclusioni per un metodo che non gli pare altra cosa se non un'assidua indagine, ma che altri riguarda come intuizione. Segue una concatenazione di riflessioni che sono ovvie al suo intelletto, e suppone perciò di seguire una traccia che sia ovvia a tutti. Ciò che al genio sembra un semplice pensare ordinario, è pei pensatori ordinari l'ispirazione del genio.

Di questo genere era la mente di Newton: egli compiè le sue grandi scoperte, quasi ignaro della loro grandezza, e le attribuì ad una semplice «pazienza di meditazione». Ma questo paziente meditare era il più sublime volo del genio. Ciò che per lui non era altro che una deduzione ordinaria, sarebbe parso ad una mente inferiore uno sforzo gigantesco, al cui felice successo avrebbe dato una proporzionata importanza. Newton «aspettava che la luce si spargesse sul suo soggetto»: altri avrebbero potuto aspettare senza che la luce apparisse.

«Alle sue importanti invenzioni nelle matematiche

pure » dice il professore Playfair « Newton aggiunse le maggiori scoperte nella filosofia della natura; e nel passare per le sue mani, la meccanica, l'ottica e l'astronomia non furono solamente migliorate ma rinnovate. Nessuno lasciò mai il sapere in uno stato così diverso da quello in cui lo trovò. Gli uomini furono istruiti non solamente in nuove verità, ma in nuovi metodi di scoprire il vero: essi conobbero il gran principio che connette insieme le più lontane regioni dello spazio, e i più remoti periodi di durata; cosa che doveva menare a future scoperte assai maggiori di ciò che i più savi, e i più facili a sperare, potevano imaginarsi ».

Insomma sotto qualunque aspetto riguardiamo Newton, egli appare egualmente grande. Nella parte sola della pura investigazione sperimentale, come nelle sue ricerche ottiche, egli diè prova di maestria e di accuratezza, di pazienza e di sagacità, che lo pongono alla testa degli sperimentatori. Considerato soltanto per rispetto al modo di eseguire gli sperimenti, egli ha avuto pochi eguali sino ai tempi moderni; e per la grandezza e per l'importanza dei risultamenti, le sue scoperte sperimentali possono per sè sole aver dritto di essere preferite a quelle di quasi ogni altro filosofo. Nelle matematiche astratte, a parte di ogni ramo di scienza fisica, egli non ebbe, per comune opinione, altro rivale fuorchè Leibnitz; e questi, individualmente, può appena dirsi che abbia fatto pel calcolo differenziale più di quello che facesse Newton. E mentre il secondo certamente spiegò un ingegno eguale nei metodi geometrici e negli analitici, il primo si limitò quasi intieramente all'analisi.

Nelle applicazioni della scienza matematica, l'im-

mensa superiorità di Newton su tutti gli altri filosofi (tranne il suo moderno rivale Laplace) è universalmente ammessa. Tutta quanta la dinamica fisico-matematica è una scienza che si può dire essere stata da lui creata; e la sua applicazione ai fenomeni attuali del sistema planetario, che l'osservazione aveva classificato per mezzo di leggi induttive, è dovuta alla sola mente maestra di Newton.

Uomo straordinario adunque in ciascun ramo di scienza preso separatamente, egli si sarebbe illustrato quando anche si fosse limitato ad un solo. Ma quando lo contempliamo egualmente grande e senza rivale in tutta la scienza ad un tempo, non sappiamo come adeguatamente esprimere la maraviglia e l'ammirazione che le sue facoltà trascendenti c'ispirano; e siamo convinti che i noti elogi poetici che gli furono dati, possono appena dirsi esagerati (1). Nè è questo un omaggio vano e da idolatra ad un semplice mortale, ma coloro che riflettono e sono dotati di discernimento, vi prenderanno occasione di più alte e più importanti riflessioni. Newton medesimo è un fenomeno nella creazione intellettuale; e la considerazione di tali fenomeni ci può guidare ad un' illimitata contemplazione sui gran disegni morali cui siamo destinati a contribuire.

(1) Si allude qui a un famoso distico inglese che si trova inciso in una lapida nella camera di Newton a Woolsthorpe, il cui senso è il seguente: « La natura e le sue leggi erano avvolte nelle tenebre. — Dio disse, sia Newton, e tutto fu luce ». — *Nota del traduttore.*

SEZIONE II

Scoperte dei successori di Newton

Nel formare il disegno di quest'opera nelle nostre osservazioni introduttorie, ci eravamo prefisso di portare la storia del progresso delle scoperte sino ai nostri tempi; ma sì numerosi furono gli oggetti che per la loro importanza non abbiamo potuto ommettere, e per l'alto loro interesse non potevamo accennare senza entrare in qualche ampiezza di osservazioni, specialmente per rispetto alle grandi scoperte di cui abbiamo trattato nella precedente sezione, che ci troviamo ora con dispiacere assai vicini ai limiti che la natura dell'opera assolutamente c'impone, senza aver potuto mandare ad effetto tutto il nostro divisamento. Quindi ci troviamo con rincrescimento costretti a conchiudere con un brevissimo ed imperfetto abozzo o piuttosto con una nuda enumerazione dei nomi e delle scoperte principali che hanno illustrato i tempi posteriori a Newton, e fecero progredire e compierono le investigazioni da lui cominciate.

Progressi delle matematiche

Ciò che abbiamo veduto della controversia riguardante le flussioni ci ha dovuto persuadere che lo spirito con cui fu sostenuta, fu non meno indegno della scienza che contrario all'imparziale tranquillità d'investigazione, la quale comunemente si suppone essere il suo carattere distintivo. Ma benchè grandemente sia

da lamentarsi il calore di questa disputa nella sua origine, essa debbe forse esser soggetto di maggior rincrescimento per le sue conseguenze; perciocchè dal tempo delle scoperte di Newton comincia un periodo nella storia della scienza, distinto da una notevole divisione d'animi fra i matematici inglesi e gli stranieri, egualmente singolare ed egualmente perniciosa nella sua origine, nella continuazione e negli effetti. Da questa controversia che fu una delle più amare e delle più accanite che si siano mai sostenute su qualunque soggetto, nacque una cessazione quasi totale di quei mutui scambi di cognizioni e di opinioni sopra soggetti scientifici, che sono sempre tanto vantaggiosi ad ambe le parti tra cui si operano. Lungamente dopo che la questione della controversia originale si era andata spegnendo, la gelosia che ancora rimaneva, e la linea di separazione che si era tratta fra i matematici inglesi e quelli del continente, furono mantenute in tutta la loro forza, e produssero i più perniciosi effetti sulla scienza. Ciascuna parte si pose a sostenere esclusivamente il sistema insegnato dai due gran luminari dei rispettivi paesi. I matematici britannici in particolare si conformarono con la più rigida ostinazione alla lettera medesima dei metodi di Newton; e tranne poche eccezioni, rimasero compiutamente ignoranti tanto delle investigazioni originali dell'altra parte, quanto dei miglioramenti che rapidamente vi s'introducevano.

La differenza di nome e di notazione fra i due metodi, quantunque in se stessa fosse una circostanza triviale, non fu tuttavia senza qualche importanza in alcune delle conseguenze che ne derivarono. Essa produsse sino a un certo grado l'effetto di alimentare e di accrescere la dissensione fra le due scuole, e la

loro ignoranza delle reciproche ricerche; mentre la diversità stessa fra i due metodi, quantunque realmente non fosse più che nominale, divenne l'oggetto di non picciole controversie.

Ma per quanto queste differenze siano per ogni ragione da condannarsi, la perdita in fatto di vantaggi scientifici, dobbiamo confessarlo con vergogna, fu quasi tutta dal lato dell'Inghilterra. I matematici inglesi parvero essere così abbagliati dallo splendore delle scoperte di Newton, che non le credettero suscettibili di essere estese o migliorate. Essi riguardarono le sue invenzioni con una venerazione quasi superstiziosa, e ne seguirono scrupolosamente la forma e il metodo letterale in cui le aveva espresse. La conseguenza naturale fu che il metodo delle flussioni quale fu ricevuto in Inghilterra fece comparativamente pochissimo progresso; esso fu applicato a pochi problemi oltre a quelli che costituivano le sue più ordinarie e più ovvie applicazioni, e nel calcolo inverso pochi principii generali furono sviluppati; sicchè questa parte di scienza, di gran lunga la più importante nella sua applicazione, fu lasciata in uno stato poco diverso da una confusa e miscellanea riunione di proposizioni individuali relative a casi particolari, che ammettevano soluzioni ad essi limitate.

Una conoscenza benchè leggera degli scritti dei più eminenti matematici inglesi dell'età posteriore a quella di Newton (tranne forse una o due onorevoli eccezioni), basterebbe per convincere chicchessia della giustizia delle precedenti osservazioni. I nomi di Gregory, Sanderson, Waring, Emerson, T. Simpson, R. Simson e Stewart, fra i più rinomati di quell'epoca, sono connessi, per verità, con molte cose pregevoli nella geo-

metria e nell'algebra, ma con poco che promuovesse l'estensione del calcolo differenziale, e quelle generalizzazioni de' suoi principii che accrescono il nostro impero sulle combinazioni di quantità, e somministrano i mezzi d'investigare i problemi più complessi e più astrusi della teoria dell'universo. Non si supponga tuttavia che non apprezziamo giustamente le fatiche di quegli uomini illustri, lequali, considerate astrattamente, furono di grandissimo pregio. Essi consacrarono profondi ingegni con molto tempo e molta fatica, alla restaurazione ed alla dilucidazione dell'antica geometria, che effettuarono nello stile più perfettamente classico; ed alle invenzioni di soluzioni, e composizioni di trattati concepiti nel più rigoroso spirito delle sue dimostrazioni. Altri introdussero considerevoli miglioramenti in molti dei metodi dell'algebra; ed esercitarono l'ingegno nell'invenzione di una gran massa di problemi staccati di flussioni, e nel suggerirne belle ed eleganti soluzioni.

Rogero Cotes fu una grande eccezione a queste osservazioni; e fu certamente uno dei più begli esempi di genio matematico fra i contemporanei di Newton. Fu nominato professore di filosofia sperimentale a Cambridge nel 1705, e morì nel 1716 di trentatrè anni. La sua grand'opera matematica, l'« *Harmonia Mensurarum* » pubblicata nel 1722, tratta della quadratura delle curve per mezzo di parecchi metodi altamente ingegnosi, derivati particolarmente da estensioni di quelli impiegati da Newton. Essa contiene pure vari miglioramenti nelle regole per l'integrazione, ed indica metodi di trovare varie ampie classi di fluenti; oltre al comprendere alcune proprietà originali del circolo ed altre specolazioni geometriche. De Moivre nella sua « *Miscellanea Analitica* » migliorò grandemente i metodi di Cotes.

Il Dr. Brook Taylor fu un altro scrittore originale e profondo di quel tempo, il quale nel suo « Metodo degli incrementi » pubblicato nel 1715, aggiunse un novello ramo all'analisi della quantità variabile. Secondo questo metodo, si suppone che le quantità cambino non per incrementi infinitamente piccioli, ma per incrementi finiti; sebbene tutto il sistema, tanto diretto quanto inverso, abbia per altri rispetti una stretta analogia con quello delle flussioni. L'autore fece molte ingegnose applicazioni di questo calcolo, tanto a questioni geometriche, quanto a fisiche, e specialmente alla somma di serie. Fu tuttavia censurato per oscurità nel modo di enunziare i principii del metodo. Questo difetto fu tolto, e tutta la teoria fu spiegata con gran chiarezza da M. Nicol, in una serie di memorie comunicate all'Accademia delle scienze tra il 1717 e il 1727.

Ma la scoperta per cui Taylor è più universalmente conosciuto è quella di una sola formola, collocata in un luogo non troppo cospicuo nell' opera sugl' incrementi, e trascurata dall' autore come cosa di poco pregio, sebbene contenga, per così dire, l'essenza di quasi tutta la teoria delle funzioni. Alcuni scrittori la fecero il fondamento di tutto il calcolo differenziale; e tutti riconobbero ch' essa somministra la rappresentazione più comprensiva della forma generale in cui funzioni d'ogni genere possono essere sviluppate; e, quantunque si siano espressi dubbi intorno al suo dare, in ogni caso, una rappresentazione finita del valore che la funzione assume corrispondente a un dato accrescimento nella variabile, tuttavia la sua eccellenza essenziale consiste nell' indicare la relazione che esiste invariabilmente tra la forma sviluppata della funzione e gli ordini successivi dei suoi coefficienti differenziali.

Nè dobbiamo qui ommettere il nome di Stirling, l'acuto comentatore delle «linee del terzo ordine» di Newton, e il vero inventore della formola analitica conosciuta come teorema di Maclaurin; nè quest'ultimo matematico, sottile ed ingegnoso espositore della dottrina dell'analisi, che applicò pur anche felicemente a sciogliere alcuni dei problemi nati dalla teoria della gravitazione.

Abbiamo accennato la guerra fatta al principio del calcolo differenziale; il sistema delle flussioni ebbe a sostenerne un'altra più formidabile per parte del vescovo Berkeley nel 1734. Quantunque eminente come metafisico, la sua dottrina matematica non era del primo ordine; tuttavia l'argomento contenuto nell' «Analista» è sostenuto con grande acume e plausibilità. L'autore mantiene che l'idea fondamentale di supporre che una relazione finita esista fra termini che assolutamente «*svaniscono*» — «ombre di quantità trapassate», come egli facetamente li chiama — è compiutamente assurda e inintelligibile: e si debbe confessare che il *linguaggio* in cui il principio delle flussioni era espresso, veramente lo rendeva soggetto ad obbiezioni di questo genere. Una risposta fu pubblicata dal Dr. Jurin sotto il nome di Filalete. Parecchi altri scritti comparvero dalle due parti. Robins e Maclaurin sono riguardati come quelli che fecero la più bella difesa del principio dei limiti. Ma sebbene il soggetto fosse ampiamente discusso, e l' «Analisi dei residui» di Landen nel 1758 presentasse un principio analogo, in qualche parte scevro dalle obbiezioni, tuttavia non può dirsi che la cosa sia stata pienamente chiarita finchè D'Alembert non mostrò la vera applicazione della teoria dei limiti nel suo senso più semplice. Finalmente Lagrangia nella sua «Teoria

delle Funzioni» rigettando ogni idea tanto d'infinitesimali, quanto di limiti, ridusse il tutto ad un'investigazione algebraica elementare, sebbene alquanto prolissa, per mezzo dello sviluppo di funzioni in serie; mentre il prezioso saggio di Carnot sui principii metafisici del calcolo infinitesimale tende a rimuovere le obbiezioni dal metodo dei limiti, forse più di qualunque altro scritto che sia comparso su questo soggetto; e le ricerche del professore Woodhouse hanno posto i principii generali dei metodi dell'analisi sopra una sicura base di dimostrazione. Ai suoi scritti dobbiamo la prima introduzione nel nostro paese delle invenzioni degli analisti del continente.

Sarebbe vano il tentare di dar qui un'idea dei grandi miglioramenti introdotti in ogni ramo di matematiche analitiche dai matematici stranieri. Abbiamo fatto menzione dei nomi di coloro che s'illustrarono i primi in quella celebre scuola che innalzò sì gran parte dell'edifizio della scienza, e che in tempi più moderni non mancò di successori degni di loro. I nomi di Legendre e di Lacroix, di Abrogast e di Poinsot, di Garnier e di Cauchy, sono pochi in mezzo a una moltitudine dei più rinomati nelle diverse parti dell'analisi pura; mentre molti di quelli che abbiamo nominati in altri rami della scienza non erano meno eminenti anche in questo. L'Inghilterra non si è potuta vantare sin qui di molti nomi nelle parti più sublimi delle matematiche; ma dappoichè abbiamo avuto la savizza di rinunziare ad alcuni dei nostri assurdi pregiudizi esclusivi, e di coltivare i metodi nei quali i nostri vicini del continente hanno acquistato tanta rinomanza, abbiamo cominciato ad avere un certo numero d'ingegni analitici, dai quali possiamo con confidenza aspettare i più felici risultamenti.

Sono pochi anni tuttavia che cominciò a mostrarsi in Inghilterra un notevole cambiamento nello stato delle cognizioni matematiche. Appena sono scorsi venti anni che ci siamo avveduti per la prima volta di essere molto indietro di tutto il rimanente d'Europa in queste scienze, non per mancanza di primari ingegni, ma per la cattivà loro applicazione ad oggetti non degni, o almeno tali da non potere per la loro natura menare ad alcun gran progresso. Da quel tempo in qua, le opere e le invenzioni dei gran matematici del continente sono state presso noi introdotte e studiate; e non è necessario il dire che non prima furono intese ed apprezzate, esse eccitarono un grande ardore per la coltivazione di questi metodi, — sebbene esso si sia forse piuttosto mostrato in minuti miglioramenti e in perfezionamenti di trattati, che in estese ricerche originali. Benchè queste non mancarono affatto, e non dobbiamo temere di porre a fronte delle invenzioni del continente le ricerche analitiche dei Woodhouse, Bromhead, Ivory, Babbage e Herschel.

Dinamica

I filosofi inglesi che precedettero i nostri tempi non furono più felici nell' applicazione delle matematiche alle investigazioni fisiche. Qui pure, tranne poche eccezioni, un'intera divozione alla lettera delle « Principia », sembra aver impresso nella mente dei seguaci di Newton l'idea che non si potesse andar oltre ciò che era stabilito in quell' opera stupenda. Per verità le « Principia » sono un' opera che starà finchè durerà la scienza, monumento immortale del genio trascendente

del suo autore. Le verità che stabilisce sono senza dubbio quelle sulle quali fermamente è fondato tutto il sistema dell'astronomia fisica; e il modo e lo stile in cui sono espresse somministrano la prova più indubitabile di quella superiorità d'ingegno, la quale con l'applicazione di principii cotanto semplici potè trarre così sorprendenti conclusioni. Ella è questa un'opera che tanto per la materia quanto per lo stile si mostra terminata e compiuta in se stessa. Ma si può ammettere, senza nulla togliere al suo merito che, quando insorsero questioni ulteriori e più complesse da determinarsi, lo scioglierle e il ridurle in un sistema non potè eseguirsi con gli stessi mezzi nè nella medesima forma.

I metodi delle ultime ragioni e delle flussioni sembrano, per così dire, essere stati creati all'oggetto espresso di condurre Newton all'analisi dei movimenti di corpi posti sotto l'azione delle forze centrale e di gravitazione, ed alla soluzione dei gran problemi che ne nascono; ma non erano più a questo modo applicabili quando i limiti di queste parti d'investigazione furono estesi; e per investigare relazioni più complesse nel sistema fisico del mondo si richiedevano metodi più raffinati, più generali e più comprensivi. Quindi una devozione esclusiva ai metodi, per eccellenti che fossero, inventati ed applicati da Newton, non poteva gran fatto aiutare i suoi discepoli nel far progredire le scoperte da lui cominciate; e mentre limitavano la loro attenzione e i loro studi ad una conoscenza de' suoi scritti e de' suoi metodi, non erano in condizione di allargare i confini della scienza, nè si prevalevano di quei più validi stromenti che erano necessari per quest'opera, in proporzione che diveniva più vasta e più difficile.

Newton aveva portato la geometria ad un grado che non aveva esempio, e l'aveva felicemente applicata nello stendere il dominio della scienza sul sistema dell'universo; ma un tal modo di procedere non poteva certamente essere applicabile in tutti i casi; la maggior parte di coloro che erano occupati in simili ricerche richiedevano metodi più facili, e regole più certe e sistematiche, per valersene nelle loro investigazioni e nei loro calcoli. La geometria come fu adoperata da Newton era come la fionda e il sasso nelle mani di Davide; un'arme con cui nessun combattente ordinario vorrebbe assalire un gigante.

Vincolati a questi metodi, i filosofi inglesi fecero in generale assai poco per proseguire le ricerche dinamiche; mentre troviamo gli analisti del continente operosamente occupati, e rapidamente stendenti le loro ricerche in proporzione delle facilità loro somministrate dal crescente potere del nuovo calcolo. La discussione insorta nel 1724 intorno alla vera misura della forza, che infine si vide chiaramente non esser altro che una questione di parole, ebbe per effetto di dar occasione a molte pregevoli ricerche; sebbene quando i filosofi inglesi Maclaurin, Stirling, Clarke ed altri vi presero parte contro Bernoulli, Herman, S'Gravesande e Munschenbroek, la discussione prese molta somiglianza a quella sulle flussioni, l'asprezza della quale non era cessata se non per stanchezza e pel volgere del tempo. La controversia può essere riguardata essere giunta al suo termine alla pubblicazione della « Dinamica » di D'Alembert nel 1743.

Il carattere generale dei miglioramenti operati nella scienza meccanica ed idrostatica intorno a questo tempo, fu segnato principalmente dal crescente sviluppo delle

formole analitiche. A questo è dovuto il grande avanzamento nell'investigazione di principii e di leggi, che può forse risalire a Bernoulli e a D'Alembert, e fu così felicemente promosso da una lunga serie dei loro illustri successori, e perfezionato nella «Meccanica Analitica» del Lagrangia. Questi progressi sono tuttavia precisamente quelli di cui, nei limiti che ci siamo prefissi, non è in nostro potere di dare un'adeguata idea, una semplice enumerazione, senza una conveniente illustrazione, non potendo non riuscire inutilissima.

Di Lagrangia dobbiamo per altro aggiungere che il carattere distintivo del suo genio consiste nell'unità e nella grandezza de' suoi concetti. Egli si consacrò intieramente ad un semplice, quantunque giusto ed elevatissimo pensiero. La sua opera principale, testè menzionata, riferisce tutte le leggi dell'equilibrio e del moto ad un solo principio; e ciò che non è meno mirabile, le sottomette ad un solo metodo di calcolo di cui egli stesso fu l'inventore. Tutte le sue composizioni matematiche sono notevoli per la loro singolare eleganza, e per quella simmetria di forma e generalità di metodo che costituisce la perfezione dello stile analitico.

Astronomia Fisica

L'astronomia fisica era una scienza di origine puramente inglese; tuttavia, dopo la morte del suo fondatore, ebbe in Inghilterra pochissimi coltivatori, e appena vi si fece qualche progresso d'importanza verso l'investigazione delle conseguenze più astruse della legge di gravitazione e dei fenomeni più complessi del si-

stema del mondo; ovvero nel provvedere metodi più generali e più comprensivi adattati a calcolare le leggi e le conseguenze di tali azioni.

Sul continente di Europa, la condizione ed il progresso di questa scienza furono, durante lo stesso tempo, assai differenti. La teoria Newtoniana della gravitazione, sebbene da principio ricevuta con qualche lentezza ed esitazione, fu finalmente trionfante; e non prima se ne vide l'eccellenza e se ne approvarono le conclusioni, il genio dei matematici continentali fu immediatamente diretto all'estensione delle sue applicazioni ed al miglioramento dei metodi per esse richiesti.

Il compiere la teoria delle maree, l'investigare le ineguaglianze lunari, il movimento delle comete e la figura della terra, furono tosto oggetti che impiegarono l'ingegno dei grandi che ornarono la scuola del continente; e il felice esito delle loro investigazioni su questi soggetti fu proporzionato all'accresciuto potere degli stromenti di ricerca di cui si erano provveduti per via degli ampliati mezzi del nuovo calcolo. Ogni anno aggiungeva nuove invenzioni e scoperte, ed ampliazioni di precedenti teorie ai progressi della scienza. L'edifizio dell'astronomia fisica s'ingrandiva rapidamente sul disegno che Newton ne aveva dato, e, come era da aspettarsi, l'opera progrediva precisamente in proporzione dei maggiori mezzi di proseguirla che si somministravano agli operai, — vale a dire in proporzione dello stendersi e del generalizzarsi dei processi del calcolo analitico. Si potrebbe presentare un lungo e splendido catalogo dei nomi di coloro che accoppiarono l'estensione dei metodi astratti alla coltivazione delle ricerche fisiche dal tempo dei Bernoulli sino ai giorni nostri.

EE

Le innumerevoli e complesse conseguenze del principio di gravitazione formavano un immenso legato di ricerche lasciato da Newton a' suoi successori.

Il primo che intraprendesse questo lavoro fu Clairaut, nelle sue celebrate memorie indirizzate all'Accademia delle scienze nel 1743, 1745 e 1754. Queste contengono in fatto lo sviluppo del principio delle perturbazioni, conosciuto sotto il nome del « problema dei tre corpi ».

Furono quasi suoi contemporanei Euler, Mayer, Tommaso Simpson e D'Alembert, i quali tutti si consacrarono a far progredire gli stessi difficili, ma importantissimi ed assai interessanti soggetti, le teorie lunari e planetarie, — vale a dire il computo di tutte le ineguaglianze dei loro movimenti, prodotte dalle perturbazioni delle loro attrazioni mutue.

Oltre un gran numero di altri filosofi (che tranne Maclaurin, si vuol confessare essere stati principalmente stranieri), i quali lavorarono a proseguire e a perfezionare i diversi particolari di questi soggetti, e i computi che involvevano, troviamo che qui cominciano a comparire sull'orizzonte intellettuale due gran luminari della scienza, Lagrangia e Laplace, il secondo dei quali è divenuto il solo e degno competitore di Newton agli onori procedenti dal compimento di un sistema perfetto matematico e dinamico del meccanismo celeste.

Il primo essendo riuscito a sviluppare ed a verificare le verità dinamiche che sono divenute le basi di tutto il sistema analitico delle forze, le applicò al sistema del mondo: e pose nelle memorie di Berlino del 1776 i principii dai quali si può inferire l'invariabilità delle distanze medie di tutti i pianeti, oltre all'aver fatto molte altre investigazioni di cui sarebbe qui inutile il dare i titoli.

Laplace

Uno dei più sicuri criterii della verità di una teoria filosofica è questo, che applicandosi in primo luogo alla spiegazione generale di una classe intera di fenomeni, si trovi poscia tale da ammettere un' applicazione esatta a qualunque particolare che susseguentemente si venga a scoprire, per mezzo di modificazioni dirette e semplici esattamente d'accordo col principio originale, e che da quello si possano legittimamente dedurre. La teoria di Newton è stata sottoposta a questa prova nelle mani dei suoi successori, e vedremo in che maniera compiuta e trionfante sia passata per questo sperimento. Fra coloro che si applicarono a queste ricerche Laplace è più di ogni altro cospicuo; e a lui solo è dovuta la lode di aver pienamente perfezionata l'opera che Newton aveva incominciata. Coltivando il soggetto delle ineguaglianze planetarie, fu in grado di seguire il principio della gravitazione nelle sue più remote conseguenze, e di confermare l'universalità della sua legge.

L'acceleramento del moto della luna fu forse il primo gran problema che fermò la sua attenzione. Quest'ineguaglianza, scoperta da Halley, dissimile dalle altre pel non ricorrere a brevi intervalli, fu chiamata per distinzione *secolare;* ma Laplace dimostrò ch'essa pure avrebbe un limite, dovendo attribuirsi all'azione di cause che sono conseguenze del principio universale della gravitazione. Le illazioni che dedusse per remote concatenazioni di raziocini, dal principio di gravità, sono spesso, a dir vero, di una natura assai sorprendente e inaspettata: — qual è la conclusione dell' as-

soluta invariabilità della rotazione della terra, tratta dalla teoria del moto della luna, e la deduzione della compressione della sferoide terrestre, ricavata dalla medesima teoria; scorgendosi gli effetti dell'attrazione dovuta alla figura sferoidale in alcune parti delle ineguaglianze lunari. Le grandi ineguaglianze di lungo periodo di Giove e Saturno, la librazione dei satelliti di Giove, e specialmente le maree, mostrano evidentemente i maravigliosi poteri d'investigazione di cui era dotato. In particolare egli esaminò quest'ultimo soggetto in relazione al principio della stabilità dei gran fenomeni e delle leggi del sistema, benchè sia involto in immediata variabilità ed in perpetuamente varie ineguaglianze. Le cause che turbano l'equilibrio dell'Oceano sono soggette a limiti che non possono essere superati. La gravità specifica del mare essendo molto minore di quella del solido globo, ne segue che le oscillazioni dell'Oceano sono sempre comprese in istrettissimi limiti, cosa che non accadrebbe se il fluido sparso sopra il globo fosse più pesante. La massa più densa che forma la parte centrale, è la condizione che determina la stabilità dei mari. Non possiamo con parole più concise e più espressive render giustizia all'importanza di questi principii, che Laplace ebbe il merito di compiutamente stabilire, se non valendoci dell'eloquente linguaggio di Fourier che così li descrive: — « La natura in generale tiene forze conservatrici in riserva, le quali sono sempre presenti ed agiscono all'istante che la perturbazione comincia, e con una forza crescente con la necessità che richiede la loro assistenza. Questo potere conservatore si trova in ogni parte dell'universo. La forma delle grandi orbite planetarie e le loro inclinazioni cambiano nello scorrere

dei secoli, ma questi cambiamenti hanno i loro limiti. Le principali dimensioni sussistono; e questa immensa riunione di corpi celesti oscilla intorno ad una condizione media del sistema, verso la quale è sempre richiamata. Tutto è disposto per l'ordine, la perpetuità e l'armonia.... Qualunque sia la causa fisica della formazione dei pianeti, essa ha impresso in tutti questi corpi un moto di proiezione in una direzione intorno a un globo immenso; e da questo il sistema solare deriva la sua stabilità. L'ordine è qui mantenuto dal potere della massa centrale; e non è perciò lasciato, come Newton medesimo ed Euler avevano congetturato, ad una forza avventizia di riparare o d'impedire la perturbazione che il tempo può avere cagionata. Ella è la legge di gravitazione stessa che regola ogni cosa, che è sufficiente a tutto, e che dappertutto mantiene la varietà e l'ordine. Emanata una volta dalla Sapienza Suprema, essa presiede sin dal principio del tempo, e rende impossibile ogni specie di disordine. Newton ed Euler non conoscevano tutte le perfezioni dell'universo: ogni qual volta si è dubitato dell'accuratezza della legge Newtoniana, e si è proposto una causa straniera per ispiegare irregolarità apparenti, la legge originale fu sempre verificata dopo il più maturo e più profondo esame. Più le osservazioni astronomiche sono divenute accurate, più si sono vedute conformarsi alla teoria »(1). Ed a questa bella ed eloquente esposizione aggiungeremo l'osservazione di un altro scrittore eminente, le cui parole riferiremo senza tradurle per non iscemarne la forza: —

(1) Fourier, Elogio di Laplace letto all'Accademia delle Scienze i 15 giugno 1829.

«La stabilité du système solaire est donc à jamais assurée: les orbites des planètes dans les âges futurs ne pourront que s'aplatir légèrement en conservant les mêmes grands axes, et les plans de ces orbites ne feront que de petites oscillations autour d'une position moyenne: immenses pendules de l'éternité qui battent les siècles, comme les nôtres battent les secondes» (1).

Il raccogliere la descrizione di tutte le più recenti ricerche e scoperte nell'astronomia fisica, l'unirle in un sistema connesso con le verità fondamentali stabilite da Newton, e dimostrarle con un metodo uniforme di analisi, formò l'idea di quel vasto e splendido disegno concepito da Laplace, e all'esecuzione del quale ha consacrato la sua vita. Esso fu eseguito nella maniera più perfetta con la pubblicazione della «Mécanique céleste», cominciata nel 1799, abbracciante ne' suoi primi volumi una gran parte del soggetto, e proseguita per intervalli, con successivi supplimenti nei quali si trattarono i vari particolari di diversi rami rilevanti. La pubblicazione di questo immenso monumento delle facoltà della mente umana fu veramente un'epoca nella storia, non solamente della scienza, ma della nostra specie. Fortunatamente non è necessario che per noi si tenti di dare una minuta descrizione del suo contenuto, poichè ogni lettore inglese può trovare questo ragguaglio nella profonda e luminosa opera della signora Somerville sul meccanismo celeste.

Soggiungeremo tuttavia una o due osservazioni generali.

Egli è vero che non possiamo affermare di Laplace che abbia creato una scienza tutta nuova, come Galileo

(1) Pontécoulant, Syst. du monde, Int. xvi.

o Archimede; nè che sia stato autore d'idee originali, aggiungendo un intero calcolo ai metodi matematici, come Cartesio, Newton o Leibnitz; nemmeno che siasi trasportato il primo nel cielo, come Newton, ed abbia portato la dinamica terrestre di Galileo nelle più lontane regioni del mondo planetario; ma Laplace raccolse, combinò e dispose tutto ciò che si conosceva prima di lui intorno a questi soggetti, sotto le più grandi e più comprensive generalizzazioni; rintracciò tutte le più remote conseguenze dei gran principii già stabiliti, e trasse nel dominio dell'analisi un'immensa quantità di verità fisiche, le quali non parevano affatto potersi assoggettare a un tal sistema. Tal era tuttavia la somma maestria con la quale maneggiava a suo talento le armi irresistibili del calcolo, che d'un sol tratto soggiogava le difficoltà più apparentemente insuperabili.

Sin qui non abbiamo parlato d'altro che de' suoi lavori nell'astronomia fisica; ma subordinatamente a questi egli fece pure un gran numero di altre investigazioni. A lui dobbiamo quasi tutto lo sviluppo di quel curiosissimo ed importantissimo soggetto conosciuto sotto il nome di calcolo delle *probabilità*, dottrina che si applica a quel vasto numero d'oggetti delle nostre conoscenze, i quali sono posti al di là della sfera di una certezza assoluta. Il somministrare principii fissi, giusta i quali si possa stimare ed anche esprimere con formole matematiche la probabilità di avvenimenti, è di tutte le altre invenzioni una delle più felici ed importanti. Essa tende a darci la guida dei più sani principii per distinguere la verità dall'errore, ed abbraccia tanto i cambiamenti di futuri contingenti quanto le probabilità di errore nel presente e nel passato, per la fallibilità dell'osservazione e della

testimonianza: ed è stata bene qualificata da un valente scrittore « un fortunato supplimento all'imperfezione della nostra natura ». L'idea fu primieramente suggerita da Pascal; fu poscia successivamente migliorata da Bernoulli, Euler e Lagrangia; ma debbe il suo pieno sviluppo interamente a Laplace.

Laplace in compagnia di Lavoisier fece estese ricerche sulla teoria del calore, e specialmente sulle dilatazioni dei corpi: le sue investigazioni sulla refrazione atmosferica, sull'attrazione capillare, sul misuramento barometrico delle altezze, sull'elettricità, sulla velocità del suono, sull'azione molecolare, e sulle proprietà dei gassi, la maggior parte delle quali occupano porzioni dei diversi supplimenti nella « Mécanique céleste », mostrano ad un tempo quanto fossero molteplici le sue ricerche e con qual unità di proposito le proseguisse, incorporandole finalmente sotto le leggi di un'analisi comprensiva per entrare come parti nella gran teoria del mondo materiale che tentava di portare al suo compimento; e che, nella sua sistematica uniformità, ci pone in grado di avvicinarci maggiormente al concepimento di quella perfettissima *uniformità* di disegno, che non possiamo dubitare essere il vero principio dominante in tutto l'edifizio della natura, cui, dobbiamo confessarlo, nessun potere umano arriverà forse mai a compiutamente analizzare, ma che ad ogni passo che andiamo successivamente facendo, appare sempre più distintamente investito di questo invariabile attributo.

Come scrittore, Laplace risplende fra i suoi eloquenti contemporanei in un modo straordinario. Le sue produzioni più popolari su soggetti filosofici sono composte con un'invidiabile unione della massima chiarezza e di

tutta quella eleganza di stile, la quale, senza essere guasta da ornamenti non adattati al soggetto, l'abbellisce e fa che il lettore vi trovi un allettamento. Come il suo gran predecessore Newton, diede prove sensibili dell'umiltà della vera prominenza intellettuale: e le ultime parole che proferì furono queste «ciò che sappiamo è poco, e ciò che ignoriamo è immenso».

Laplace nato nel 1749 si distinse sin da giovinetto pel suo ingegno matematico; e tosto che fu nominato professore di matematiche nella scuola militare di Parigi, cominciò a formare quel gran disegno cui consacrò tutta l'energia del suo genio e tutto il rimanente della sua vita. La grand'opera che divisò ed eseguì è stata chiamata l'Almagesto del secolo decimottavo; ma, fatta ragione dei tempi, essa è una produzione assai più maravigliosa che il suo prototipo. Le scoperte originali dell'autore che vi sono incorporate, sono le soluzioni dei più alti problemi che il meccanismo dell'universo presenti; molti d'essi avevano resistito ai tentativi di tutti i matematici precedenti, ed alcuni non solamente ricevettero la loro soluzione, ma furono per la prima volta suggeriti da Laplace medesimo. Egli ebbe la fortuna di godere, per tutta la lunga sua vita, dei mezzi necessari pel non interrotto proseguimento di astruse ricerche. La sua dimora a Arcueil era il centro d'attrazione di tutti i filosofi matematici d'Europa. Morì nel 1827, allorchè i suoi svariati lavori erano quasi giunti alla compiuta loro perfezione.

Le opere di Laplace saranno per lui un durevole monumento nel mondo; ma l'astronomo delle più remote età vi troverà perpetuamente una memoria di un più sublime e più durevol genere. Quei periodi in tutte le irregolarità dei movimenti planetari, per cui

la stabilità del sistema è assicurata, e ch'egli ha in modo così sorprendente verificati, saranno riconosciuti nelle osservazioni delle epoche più lontane, e la memoria di Laplace sarà venerata alla loro ricorrenza. Nei movimenti lunari si troveranno quei cambiamenti che saranno l'adempimento delle sue predizioni; e il compimento dei lunghi periodi delle grandi ineguaglianze di Giove e di Saturno, torneranno in mente le investigazioni di lui che fu il primo ad esaminare ed a spiegare le loro leggi.

Tutto il corso e tutto il tenore della sua vita furono regolati da uno scopo solo, che fu quello dell'investigazione filosofica. Egli impiegò la sua esistenza a interpretare il meccanismo del mondo materiale; dedicò alla scienza una vita di ricerche; e la scienza gli ha in ricompensa conferita una fama immortale.

Fra i più pregevoli lavori de'suoi successori possiamo annoverare la «Theoria motus ecc.» di Gauss pubblicata nel 1809; le dotte ricerche sull'attrazione delle sferoidi fatte nello stesso e nel seguente anno da Ivory (quasi solo fra i filosofi inglesi che sino a questi ultimi anni giungesse ad un'alta riputazione in queste ricerche), l'investigazione di Gauss sul medesimo soggetto, del 1810; e quella di Bessel sulle perturbazioni, del 1824. Mentre le ricerche di Lubbock e Ivory sulla stessa materia, dal 1830 al 1832; quelle del professore Airy, sulla figura della terra e sulle teorie solari e planetarie; e quelle di Encke sulla teoria fisica della sua cometa; possono forse considerarsi come tra le più notevoli investigazioni dei giorni nostri (1).

(1) Se scrivesse adesso, l'autore non dimenticherebbe certamente la «Teoria della Luna». del Plana, non ha guari premiata dalla Società Astronomica di Londra. N. T.

Astronomia piana

Il tempo scorso dopo la morte di Newton ha prodotto preziosissime scoperte nell'osservazione astronomica. L'immenso miglioramento nella costruzione di stromenti astronomici e nell'arte d'osservare, è stato naturalmente seguito da una molto maggiore accuratezza di risultamenti, e da numerose addizioni alla nostra conoscenza dei corpi celesti. E in tutte queste cose possiamo con giusto orgoglio osservare che il nostro paese ha avuto abbondantemente la sua parte.

Abbiamo fatto allusione alle fatiche di Halley. Egli vi aggiunse la gloria di essere il primo a predire il ritorno di una cometa. Avendo osservato una concordanza negli elementi di parecchie che erano apparse a vari periodi successivi di tempo, egli conchiuse che fossero riapparizioni dello stesso corpo, obbediente alla legge di un'orbita elittica, e predisse un ritorno nel 1758 che si verificò compiutamente.

Bradley, associatosi con Molineux, cominciò nel 1725 quella preziosa serie di osservazioni che condusse alla scoperta dell'aberrazione e della nutazione dell'asse della terra; la prima, conseguenza della finita velocità della luce, la seconda, della gravitazione.

I misuramenti dell'arco del meridiano erano in quel tempo ripetuti con maggiore accuratezza in Francia da La Hire e Cassini, ma sembravano condurre allo strano paradosso che la figura della terra fosse una sferoide oblunga ai poli, piuttosto che stiacciata o compressa. Questo fu poscia dimostrato essere effetto di un errore nel misuramento fondamentale; e, nel 1735 il paragone degli archi misurati da Maupertuis e da

altri nella Laponia, e da La Condamine al Perù stabilirono la figura stiacciata.

Si misurarono pure archi, in Italia da Boscovich nel 1750; al Capo da La Caille nel 1752; e in America da Mason nel 1764.

I due passaggi di Venere nel 1761 e nel 1769 furono entrambi, e specialmente l'ultimo, diligentissimamente osservati da astronomi mandati a varie stazioni in diverse parti del globo, a spese dei principali governi di Europa; e gl'importanti risultamenti della parallasse del sole furono compiutamente stabiliti.

L'invenzione del quadrante di Halley nel 1731 somministrò mezzi stromentali fatti, per così dire, a bella posta per le osservazioni a bordo di navi; e le tavole lunari migliorate diedero i dati pel facile e compiuto uso del metodo delle distanze lunari onde trovare la longitudine su mare: il che fu principalmente introdotto per zelo e diligenza del Dr. Maskelyne, astronomo regio, che promosse la pubblicazione dell'« Almanacco nautico », e compilò tavole e regole ad uso dei marinari, le quali, semplificate come si richiedeva che fossero, erano tuttavia fondate sui maggiori raffinamenti cui fossero giunte la teoria e l'osservazione.

Nel 1749 un miglioramento degli oriuoli, per lo stesso importante oggetto, fece ottenere ad Harrison la medaglia della Società Reale; e nel 1769, dopo la prova di una lunga navigazione, assicurò all'ingegnoso inventore la ricompensa offerta per atto di parlamento. Lo stimolo così dato ha d'allora in poi prodotto una perfezione sempre crescente in queste macchine.

L'attrazione esercitata da grandi masse di conosciuta densità, paragonata con l'attrazione della terra, ci mette in istato di dedurne la densità media del

globo. A quest' oggetto l'attrazione delle montagne, cagione che un piombino si scosti dalla perpendicolare, (che era stata osservata da La Condamine al Perù) fu investigata dal Dr. Maskelyne nel 1774 per mezzo di osservazioni sulla montagna Schehallion in Iscozia; ed altre simili osservazioni sono poscia state fatte dal de Zach e da altri.

Un' elaborata serie di sperimenti, avente il medesimo scopo, quantunque eseguita con mezzi totalmente diversi, fu fatta nel 1798 da Cavendish il quale stimò l'attrazione di palle di piombo per mezzo di un apparecchio delicatissimo. Il risultamento concordò assai dappresso con quello degli altri metodi.

Nel 1787 cominciò la serie delle operazioni trigonometriche, intese da principio semplicemente a connettere gli osservatorii di Greenwich e di Parigi, le quali furono poscia estese alla misura di tutta la Gran Bretagna, per ordine del governo, sotto la direzione in prima del generale Roy e poscia dei colonnelli Mudge e Colby, misura che si sta adesso stendendo all' Irlanda.

Sir W. Herschel era riuscito più che qualunque artista precedente a formare e levigare larghi specchi metallici per telescopi; e co' suoi giganteschi stromenti ebbe la soddisfazione di presto aggiungere un nuovo pianeta al nostro sistema. La scoperta di Urano seguì nel 1781, e fu immediatamente riconosciuta dagli astronomi per tutta Europa. Lo stesso eminente osservatore continuò a rivolgere le sue fatiche al minuto esame del cielo; ed accrebbe immensamente la nostra cognizione delle nebulose, delle apparenze e della probabile natura fisica del sole; e finalmente delle stelle doppie, le quali, paragonando osservazioni fatte ad intervalli considerevoli, trovò essere in parecchi casi composte di

due corpi volgentisi intorno al loro centro comune di gravità. Questa scoperta fu annunziata nel 1803, ed è stata poscia abbondantemente confermata dalle ricerche unite del suo eminente figliuolo e di Sir J. South, come pure da quelle del sig. Struve di Dorpat. Così si è data un' estensione illimitata al dominio della gran legge di gravitazione; le stesse forme elittiche delle orbite essendo state in vari casi accertate.

Un' altra serie di splendide scoperte fu quella dei quattro piccioli pianeti fra le orbite di Marte e di Giove; Cerere scoperto da Piazzi nel 1801; Pallade da Olbers nel 1802; Giunone da Harding nel 1804; e Vesta da Olbers nel 1807.

Lo stabilimento dei periodi di due notevolissime comete è pure dovuto al nostro secolo. Una, osservata nel 1819 e nel 1822, fu trovata somigliare ad apparizioni precedenti. Encke ne calcolò l' orbita e ne predisse il ritorno pel 1825, il che fu compiutamente verificato, come pure nel 1828 e nel 1832. Ella è così dimostrata essere un picciol corpo nebuloso, appartenente al nostro sistema, di una natura in qualche modo intermedia fra una cometa ed un pianeta. Un altro corpo di simile natura fu parimente dimostrato da Biela, nel 1825, essere una cometa periodica.

Queste ultime scoperte hanno tutte avuto origine sul continente; e sonovi altre numerose ed importanti ricerche che i nostri limiti non ci permettono nemmeno di enumerare, di cui siamo debitori a quegli eminenti osservatori, e ad altri i cui nomi sono egualmente illustri negli annali della scienza, — degni successori dei Cassini, Lalande, La Caille e Delambre.

Le ricerche astronomiche, ai tempi nostri, sono certamente dirette in modo particolare ad una maggiore

accuratezza di risultati. È stato giustamente osservato dal professore Woodhouse, che « l'astronomia è ora giunta ad una specie di stato massimo di eccellenza, ed i suoi cangiamenti sono minuti e debbono continuare ad esser tali. Tutti i gran cangiamenti terminarono con Bradley. Egli spazzò il terreno delle scoperte e lasciò poco a raccogliere a coloro che gli vengono dietro. Tuttavia durante i sessant'anni che sono scorsi dopo Bradley non si può dire che l'astronomia non abbia fatto grandi progressi, quantunque non per mezzo di scoperte quali sono quelle dell'aberrazione e della nutazione ».

Quest'immensa estensione di minute ricerche fa naturalmente ch'essa sia tanto più difficile ad analizzare. Ci vorrebbero volumi a dare soltanto un compendio di tali risultamenti. Una discussione interessantissima sull'esistenza o non esistenza di una parallasse sensibile nelle stelle fisse fu sostenuta nel 1815 e negli anni seguenti tra il sig. Pond e il Dr. Brinkley. Nel 1820 lo stabilimento della Società astronomica di Londra diede un nuovo stimolo all'avanzamento della scienza nel nostro paese; e le sue memorie sono di tempo in tempo divenute un deposito inestimabile di osservazioni, di metodi e di tavole che si riferiscono a tutte le parti dell'astronomia piana. L'istituzione di osservatorii al Capo di Buona Speranza fatta dal governo inglese nel 1821; a Paramatta da Sir T. Brisbane nel 1822; e a Cambridge nel 1823, ha già prodotto un'abbondante messe d'importanti risultamenti. La pubblicazione regolare di osservazioni, e di memorie e discussioni relative all'astronomia, è stata di un vantaggio incalcolabile nel diffondere una cognizione della scienza, e nel promuovere la comunicazione delle idee; mentre

le effemeridi di Parigi, di Berlino, di Milano ed altre hanno alla loro volta stimolato gli astronomi inglesi a fare nel loro Almanacco nautico quei molti miglioramenti che distinguono il volume del 1834.

Ottica

Le splendide scoperte di Newton nell' ottica sembrano non avere per lungo tempo eccitato ne' suoi successori un gran desiderio di proseguire simili investigazioni. Il fatto della dispersione ineguale di diversi *mezzi*, realmente osservato, come abbiamo detto, ma non inteso da Newton e da Lucas, fu circa il 1729 studiato ed anche praticamente applicato da Hall alla correzione del colore al fuoco dei vetri obbiettivi dei telescopi. Quest' invenzione sembra tuttavia essere stata dimenticata, finchè l' idea non fu fatta rivivere o, per dir meglio, non fu nuovamente scoperta da Giovanni Dollond nel 1758, e il telescopio acromatico portato alla perfezione dalle cure di quell' eminente artista e de' suoi scientifici successori. Questo principio fece pure che l' ottico potesse far senza quelle incomode lunghezze nei telescopi anticamente adottate, come si vede da quanto abbiamo altrove accennato.

L' investigazione dei poteri refrattivi e dispersivi dei corpi trasparenti, e la ricognizione di dispersioni non solamente ineguali nell' ammontare, ma dissimili in carattere, fu nello stesso tempo coltivata da vari osservatori eminenti, e questi importanti dati fisici vennero accertati con sempre maggior precisione dalle determinazioni di Boscovich, Wollaston e Brewster. Lenti composte, inchiudenti *mezzi* liquidi, furono proposte e provate con successo considerevole dal Dr. Blair,

e sono state ancora più recentemente portate alla più alta perfezione da Barlow.

La teoria matematica dei raggi ottici è un altro esteso ramo d'investigazione, che in sul principio è puramente di un carattere speculativo, ma che ne' suoi risultamenti e nelle sue applicazioni abbraccia tutta la teoria della riflessione e della refrazione ordinaria. A una simile teoria sviluppata con un alto grado di generalità da Malus, sono ai di nostri quasi intieramente sottentrate investigazioni di un'astrazione ancora maggiore, e proseguite, coll' aiuto di un calcolo ancora più potente, dal professore Hamilton.

I fenomeni dello spettro prismatico furono mostrati per mezzo delle osservazioni, in prima di Wollaston e poscia di Frauenhofer, possedere qualità caratteristiche non ancora notate nell'esistenza di linee lucide e oscure attraversanti lo spettro in tutti i punti della lunghezza, delle quali non si è ancora tentato di stabilire alcuna teoria.

In quelle parti di ottica sperimentale che ci rivelano la più intima natura della luce, le nostre cognizioni tanto dei fenomeni quanto della teoria si sono in questi ultimi tempi maravigliosamente allargate. Dopo essere rimasta sopita per più di un secolo, durante il quale appena si aggiunse un sol fatto a quelli rivelati da Newton, questa bella e interessante parte d'investigazioni cominciò a rivivere. Nelle mani di Malus, Arago e Biot in Francia; e di Wollaston, Brewster ed Herschel nella Gran Bretagna, i fenomeni della luce polarizzata diedero una direzione affatto nuova all'investigazione; ed una bella serie di fatti e di leggi sperimentali, servì ad eccitare l'ammirazione, e sino a un certo punto ad esercitare l'ingegno teorico di questi e di altri

filosofi. Prima di questo tuttavia, il risorgimento della teoria di Huygens, sebbene poco nota ed apprezzata, e l'estensione degli sperimenti di Grimaldi, di Hooke e di Newton, posero la gran mente del Dr. Young in istato di scoprire la bella e semplice legge dell'*interferenza*, la quale è poscia stata estesa ai più intricati e reconditi fenomeni, non solamente della classe cui fu originariamente applicata, ma a quelli pure della luce polarizzata, con una precisione ed un esito superiori a tutto ciò che si sarebbe potuto sperare, nelle ricerche di Frauenhofer e di Fresnel testè rapiti alla scienza, e dei loro viventi coadiutori il professore Airy ed il sig. Cauchy.

I curiosi fenomeni sui quali, sicome abbiamo veduto, Newton fondò la sua teoria degli *accessi*, furono messi in relazione con tutta l'estensione dei nuovi risultamenti. Gl' *intervalli*, di qualunque natura fossero, le cui lunghezze erano state così accuratamente definite, furono trovati identici agl' *intervalli delle onde* nella teoria di Huygens; e quantunque l'una e l'altra spiegazione potesse applicarsi, nulla era stato da lungo tempo decisivamente messo innanzi per determinare quale fosse da preferirsi, finchè Fresnel il primo ragionò sulla *quantità di luce* riflessa (che era uno dei punti di cui abbiamo parlato); e quelle supposizioni relative all'azione delle *due* superficie dei sottili strati o lamine (che abbiamo osservato essere le sole parti *ipotetiche* della dottrina di Newton) furono esaminate dal professore Airy il quale con un maestrevole *experimentum crucis* determinò che *ambe* le superficie vi avevano parte, e per conseguenza dimostrò la spiegazione ondulatoria. A queste ricerche si è recentemente aggiunta l'applicazione del sistema del profes-

sore Hamilton alla teoria delle ondulazioni: dalla quale sorse uno dei fatti più singolari nella storia scientifica, vale a dire la predizione di una forma affatto nuova che un raggio di luce prenderebbe sotto particolari circostanze; cosa totalmente lontana da ogni idea che una previa osservazione potesse somministrare, ma che fu compiutamente verificata dagli sperimenti del professore Lloyd. Nè dobbiamo ommettere di far menzione delle ingegnose obbiezioni fatte dal Potter alla teoria ondulatoria; e il suggerimento di un caso fatto dal Barton, il quale per verità non è ancora un'obbiezione, ma cui la teoria non è ancora stata applicata, e l'uno e l'altro stati cagione di qualche discussione. Arago e Fresnel furono autori dello sperimento in cui il semplice fenomeno dell'interferenza è presentato senza alcuna circostanza estranea. Due raggi di luce divergente si fanno (o per riflessione o per refrazione) incrocicchiare ad un picciolissimo angolo; e invece di dar luogo ad una doppia illuminazione uniforme al punto in cui si confondono, essi presentano uno spazio *vergato* a fascie alternativamente lucide e assolutamente nere. Nella parte nera abbiamo dunque il risultamento paradosso che *due raggi di luce confusi producono un'oscurità assoluta;* risultamento affatto inesplicabile con qualunque ipotesi di particelle materiali, ma conseguenza diretta della teoria delle onde, di cui si può imaginare un'illustrazione familiare supponendo due onde propagate da diverse origini, e giunte allo stesso punto in quell'esatto intervallo che farà, per così dire, coincidere la sommità dell'una con la parte inferiore dell'altra; esse si *neutralizzeranno* reciprocamente, e quel punto del fluido rimarrà in riposo. L'agitazione del *mezzo* etereo a onde è cagione della luce:

quando è in riposo, vi è oscurità. La refrangibilità ineguale della luce è un fatto che non poteva conciliarsi con l'idea particolare dei principii delle ondulazioni, sui quali si era fondata la teoria. È pertanto stata lungamente oggetto di ricerche e d'ipotesi la possibilità di talmente modificare la concezione di questi primi principii in modo da fare che i risultamenti inchiudano questo caso. Finalmente ciò pare essere stato ottenuto con felice esito dal sig. Cauchy.

Oltre a queste, se i limiti ce lo concedessero, potremmo largamente accrescere il nostro elenco delle scoperte notando un vasto numero di altri fatti interessanti relativi all'assorbimento della luce da differenti *mezzi*, la costituzione dello spettro prismatico, l'applicazione della luce polarizzata allo scoprimento delle forme cristalline di minerali, i fenomeni della luce riflessa da metalli in quanto riguarda il suo stato di polarizzazione, i colori prodotti per riflessione da superficie striate, e molti altri, di cui siamo quasi intieramente debitori alla gran maestria sperimentale ed alla infaticabile perseveranza di Sir D. Brewster. Ma non possiamo entrare in una tale enumerazione; e ci tocca di passare con rincrescimento da questo soggetto interessante ad altri de' quali i nostri cenni debbono essere egualmente rapidi ed imperfetti.

Fisica generale

Un gran ramo di scienza tutto di creazione moderna è nato dall'indagare le relazioni della luce, del calore, del magnetismo, dell'elettricità e del galvanismo. I gran principii dell'elettricità originalmente svilup-

pati da Gray e da Franklin, da Du Fay e da Æpinus; quelli del galvanismo rivelati da Galvani e da Volta; e quelli del magnetismo in prima ridotti a determinate leggi da Barlow; furono strettamente connessi dalla grande scoperta dell'elettro-magnetismo fatta da Oersted nel 1819. Questa fu ampliata dalle ricerche di Davy, Faraday, Ampère, Arago, Barlow, Christie e molti altri filosofi, che rintracciarono le nuove analogie così abbondantemente offerte dalla materia. I nuovi fatti della termo-elettricità e del termo-magnetismo, trovati dal Dr. Seebeck e dal professore Cumming, vennero a connettere l'altro sottile agente — il calore — insieme coi primi; e la singolare influenza della semplice rotazione di piattelli metallici sull'ago magnetico, investigata da Arago, Babbage, Herschel, Barlow ed altri, ha contribuito a formare la nuova scienza dell'elettrodinamica.

La crescente ed esatta attenzione nell'osservare la costituzione dell'atmosfera, l'influenza dell'umidità e della temperatura, gli effetti del vento, e l'infinita combinazione che nasce dalle cause generali della pressione, condensazione e rarefazione, hanno fatto riconoscere che la meteorologia ha diritto ad essere collocata fra le scienze esatte. In fatto alcuni de' suoi fenomeni sono intimamente connessi con le leggi della combinazione chimica, altra regione sterminata di filosofiche investigazioni, che il nostro soggetto non professa d'inchiudere, e cui non possiamo far ulteriore allusione. Strettamente connessa con tutte queste parti è tuttavia la scienza del calore, tanto nella sua forma combinata, o riconosciuta come sviluppata *in corpi*, soggetto di profonde ricerche a Black, Wilcke, Dulong, Petit e Fourier; quanto nella sua condizione raggiante come propagato

da corpi caldi a distanze sensibili. In quest' ultimo ramo (connesso come è pur anche col calore solare), le preziose ricerche di Leslie, Herschel, Prévost e De la Roche, ci hanno presentato tutti i fatti elementari e le leggi semplici; mentre le illazioni teoriche da alcuni di questi risultamenti sono state negate, e un *experimentum crucis* fu tentato dall'autore di questo volume, il quale sembra provare l'esistenza di due specie o modi distinti di trasmettere il calore, prodotto, nello stessissimo tempo, da corpi caldi e luminosi. Il tentativo di Bérard, per provare che il semplice calore è soggetto alla polarizzazione come la luce, andò fallito, nell'esser ripetuto dall'autore e dal professore Lloyd. Assai recentemente si ottennero alcuni risultamenti importanti da Sir D. Brewster, e fatti ancora più singolari furono rivelati dai signori Nobili e Melloni per mezzo di un termo-moltiplicatore della massima sensibilità. Ma sarebbe inutile come senza fine l'enumerare meri titoli di ricerche di cui non possiamo fermarci a dare un' istoria; e prima di conchiudere non è possibile che facciamo altro se non alludere alla condizione generale dei mezzi che abbiamo di proseguire le ricerche fisiche.

Il gran numero delle società e delle istituzioni stabilite per promuovere in vari modi la coltivazione della scienza e la diffusione delle cognizioni fisiche, nel decimottavo e nel presente secolo, è un fatto che dimostra egualmente una cresciuta inclinazione per questi studi, come la sua efficacia a fomentarne il progresso. Le società di Berlino, di Torino e di Pietroburgo, oltre molte altre di riputazione appena inferiore sul continente, e quelle di Edimburgo, di Dublino e di Cambridge nel nostro paese, sono state le degne figlie delle grandi istituzioni

madri di un secolo precedente. La pubblicazione regolare delle loro memorie, oltre l'apparizione di un certo numero di giornali periodici espressamente consecrati agli oggetti della scienza fisica, ha esercitato un potentissimo dominio sull'inclinazione scientifica dei tempi, in ogni modo benefico alla coltivazione di queste parti di sapere. Nè dobbiamo ommettere di far menzione dell'impulso straordinario dato a questi studi dalle adunanze annue dei filosofi e dei naturalisti del continente; nè l'aiuto ancor più efficace che questi grandi oggetti ricevettero nel nostro paese dall'Associazione Britannica per l'avanzamento della scienza, i cui passati anniversari porgono la più fondata speranza di futura utilità; associazione che con la giudiziosa determinazione di fare che si stendano *relazioni sullo stato presente delle nostre cognizioni in ogni ramo di scienza*, — col raccomandare soggetti per le investigazioni, come pure con la concentrazione in un sol fuoco di tutto il potere intellettuale che può essere impiegato sui vari soggetti, e col promuovere un'amichevole e schietta discussione, invece di lunghe e pungenti polemiche su di ogni punto controverso (per non parlare di altri benefizi più generali e più ovvii), può affermarsi che abbia già fatto per la scienza del nostro paese più che qualunque altra istituzione nello stesso spazio di tempo.

Conclusione

Nel chiudere la narrazione che abbiamo intrapresa del progresso delle cognizioni fisiche, molte interessanti riflessioni naturalmente si affollano alla mente. Speravamo di poterne dare una storia molto più compiuta, entrando liberamente in qualche esame dei vantaggi della coltivazione della scienza; dei mali che taluni suppongono poterne derivare; de' suoi effetti, indirettamente sentiti dall' universale della società, benchè sia coltivata da pochi; della sua connessione con la civilizzazione fisica e ancora più con la morale; della sua condizione e del futuro suo destino in questa ed in altre contrade; dell' influenza di varie istituzioni nazionali tanto nel promuovere quanto nel reprimere i suoi progressi; dell' opinione pubblica intorno alla sua utilità; e del riconoscere l' istruzione scientifica come parte dell' educazione; ma siamo costretti di abbandonare questi e molti altri soggetti affini del più alto interesse, per la necessità impostaci dai limiti di questo volume.

Una considerazione diminuisce in noi il rincrescimento che proviamo per l' impreveduto difetto di questa parte del nostro lavoro, ed è la circostanza che tutte queste materie saranno trattate nei diversi volumi di questa raccolta relativi ai vari rami della scienza fisica. L' enumerare e lo spiegare la serie delle recenti scoperte con le quali quelle parti di scienza sono state portate alla presente loro condizione, sarebbe quasi un impegnarsi in descrizioni sistematiche delle scienze intere. E quando si è descritto il progresso col quale

i primi principii della verità filosofica furono originariamente fissati, e si sono mostrati i primi gran passi fatti nello sviluppo delle leggi del mondo materiale, la discussione dei miglioramenti successivi di quei principii sarebbe poco diversa dall'attuale esposizione dei fatti e delle teorie, la cui riunione costituisce l'edifizio sistematico delle varie parti della scienza. A questi diversi trattati pertanto noi dobbiamo contentarci di rimandare i lettori onde vi raccolgano la storia recente delle scoperte scientifiche.



INDICE ALFABETICO

—

G

H

I

K





